



**ТРУДЫ ПО  
АЭРОИОНИЗАЦИИ И  
ЭЛЕКТРОАЭРОЗОЛЯМ  
III**

ТАРТУ 1970

TARTU RIIKLIKU ÜLIKOOLI TOIMETISED  
УЧЕННЫЕ ЗАПИСКИ  
ТАРТУСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА

ALUSTATUD 1893. a.

VIINIK 240 ВЫПУСК

ОСНОВАНЫ В 1803 г.

ТРУДЫ ПО АЭРОИОНИЗАЦИИ  
И ЭЛЕКТРОАЭРОЗОЛЯМ

III



ТАРТУ 1970

TARTU RIIKLIKU ÜLIKOOLI TOIMETISED  
УЧЕННЫЕ ЗАПИСКИ  
ТАРТУСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА  
TRANSACTIONS OF THE TARTU STATE UNIVERSITY  
ALUSTATUD 1893. a. VIINIK 240 ВЫПУСК ОСНОВАНЫ В 1893 г.

---

**ТРУДЫ ПО АЭРОИОНИЗАЦИИ  
И ЭЛЕКТРОАЭРОЗОЛЯМ  
III**

ТАРТУ 1970

**Редакционная коллегия:**

**П. Кард (председатель), Ю. Лембра, У. Нымм, Я. Рейнет, В. Рийвес**



## КРАТКИЙ ОБЗОР НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАБОТ ПО АЭРОИОНИЗАЦИИ И ЭЛЕКТРОАЭРОЗОЛЯМ, ПРОВЕДЕННЫХ В г. ТАРТУ

Я. Ю. Рейнет

Первые исследования атмосферной ионизации в Тарту были проведены в 1936—1938 гг. А. Миттом. Изучалось изменение концентрации легких ионов в течение годового периода, используя при измерениях сконструированный Гердиеном в начале этого века аспиратор, который был предназначен для измерения проводимости воздуха. Хотя в это время в Западной Европе и в США имелись различные счетчики и спектрометры (Сванн, Израэль, Келер, Вегер и др.), предназначенные для измерения концентрации атмосферных ионов, в Тартуском университете ни одного из них не было, вследствие чего невозможно было проводить исследования спектрального распределения атмосферных ионов.

В 1950 году в Тарту автором был сконструирован его первый отвечающий современным требованиям комбинированный счетчик атмосферных ионов вместе с чувствительным механическим электрометром. Этим счетчиком Х. Марран и автор проводили в 1951 году в Тарту измерения для определения отдельных групп концентрации атмосферных ионов, от молионов до ультра-тяжелых ионов. В ходе этих исследований выяснились многие закономерности изменения ионизации воздуха вблизи поверхности земли, причем оказалось, что в теплое время года в атмосфере находится особенно много промежуточных ионов с подвижностью  $1,0 > k \geq 0,1$  см<sup>2</sup>/сек.в. В течение нескольких лет исследовались также изменения подвижности атмосферных легких ионов ( $k \geq 0,1$  см<sup>2</sup>/сек.в).

В ходе работы выяснилось, что для таких исследований необходимо применять новые методы и сконструировать для этой цели более надежные счетчики и спектрометры, которые были бы свободны от влияния краевого эффекта, причем были бы устранены другие побочные эффекты, снижающие точность измерений, такие, как ток утечки через изоляторы и поляризация изоляторов.

Чтобы предотвратить отталкивающее влияние краевого эф-

фекта, автором и Я. Сальмом были сконструированы счетчики-аспираторы с высокочувствительным электрометром, которые работают по методу разряда, причем изоляторы, поддерживающие обкладку измерительного конденсатора, соединенную с электрометром, не находятся в сильном электрическом поле; они окружены металлическими кольцами, которые при каждом отдельном измерении имеют приблизительно тот же потенциал, что и указанная обкладка измерительного конденсатора.

В то же время при конструировании новых счетчиков возникла проблема по автоматизации их работы. Над этим начал работать О. Сакс, который в 1956 г. дополнил сконструированный автором комбинированный счетчик атмосферных ионов автоматическим устройством для фотографической регистрации результатов измерений.

Далее О. Сакс исследовал особенности конструкции динамического электрометра и возможность его применения в счетчиках ионов, а также для других целей. Динамический электрометр нашел у нас применение, в первую очередь, в комбинированном счетчике атмосферных ионов, а затем в портативном счетчике ионов.

Комбинированный счетчик усовершенствован О. Саксом также в смысле применимости его для непрерывной регистрации ионного тока. При этом измеряемый ток пропускается через высокоомный резистор, а падение напряжения на резисторе измеряется с помощью динамического электрометра и регистрируется самопишущим потенциометром, включенным на выходе динамического электрометра. Посредством регистрирующего приспособления возможно проследить изменения концентрации ионов на величину  $20 \text{ эл. зар./см}^3$ , что соответствует изменению силы тока в счетчике на  $2 \cdot 10^{-15} \text{ а}$ .

Исследование теоретических проблем, связанных с конструированием счетчиков и спектрометров атмосферных ионов, начал Х. Таммет. В его работах теория аспирационных счетчиков представлена в общей и компактной форме, что позволяет разрабатывать новые методы исследования, улучшать параметры счетчиков и количественно оценить ошибки измерений. В монографии Х. Таммета «Аспирационный метод измерения спектра аэроионов» (Ученые записки ТГУ 195, Тарту, 1967) приведена общая теорема о движении аэроионов и общий метод разработки теории всех типов счетчиков. В работе рассмотрена теория разрешающей способности и порога чувствительности аспирационных счетчиков, а также количественная теория дифференциальных методов. Автор установил нелинейность краевого эффекта и наличие электродного эффекта в счетчиках. Практическое значение имеет также оценка влияния объемного заряда. Полуэмпирическая теория адсорбции аэроионов, ряд расчетов для до сих пор не исследованного неоднородного потока воздуха.

Результатом этих исследований явилось создание в ТГУ более точных приборов для исследования ионизации воздуха, к которым проявляют большой интерес как советские, так и зарубежные ученые.

Благодаря использованию результатов теоретических исследований при конструировании счетчиков аэроионов пределы измерений счетчика САИ-ТГУ-66, созданного в ТГУ значительно шире, чем у ранее известных счетчиков этого типа. Важными преимуществами прибора являются универсальность и удобство в работе.

Коллектив, работающий над счетчиками атмосферных ионов (Я. Рейнет, Я. Сальм, Х. Таммет), использовал при конструировании различных счетчиков предложенный О. Саксом динамический электрометр.

Теорией аэрозолей атмосферного электричества и зависимостью зарядов аэрозолей от рН занималась В. Краав. Теорию электростатического флюксметра разрабатывали Х. Таммет и Э. Сеппер, горизонтальный компонент электрического поля вблизи поверхности земли исследовали Х. Таммет и Т. Салувере.

Систематические и длительные исследования атмосферной ионизации важны для физики атмосферы, биометеорологии и для оценки загрязненности воздуха в данном месте с гигиенической точки зрения. Комбинированным счетчиком атмосферных ионов, установленным в главном здании Тартуского госуниверситета, были проведены измерения концентраций легких ( $k \geq 0,1$  см<sup>2</sup>/сек.в) и тяжелых ионов ( $0,1 > k \geq 0,00025$  см<sup>2</sup>/сек.в)

В 1951 г. Х. Марраном и автором было проведено всего 19400 визуальных измерений, а в 1960—1963 гг. П. Прюллером — 40300 измерений атмосферной ионизации комбинированным счетчиком с автоматическим фоторегистратором конструкции О. Сакса, а в 1962 г. также счетчиком с динамическим электрометром, снабженным самописцем.

Сравнение результатов измерений, полученных в 1951 г. и в 1960—1963 гг., показало, что концентрации ионов почти не изменились.

Измерения, проведенные счетчиком с динамическим электрометром, показали наличие флуктуаций в концентрации ионов, а также равенство концентраций ионов летом в городе и на расстоянии 3 километров за городом, что указывает на чистоту городского воздуха в летнее время.

Счетчики и спектрометры, разработанные в Тартуском госуниверситете, до сих пор изготовлялись для отдельных исследовательских институтов и государственных организаций в Проблемной лаборатории аэроионизации и электроаэрозолей Тартуского госуниверситета в основном по хозяйственным договорам.

Разработаны счетчики аэроионов, работающие как по методу

разряда, так и заряда. Новейшие счетчики снабжены динамическим электрометром и стрелочным измерителем. При желании плотность заряда можно регистрировать с помощью соответствующих самопишущих приборов.

В настоящее время разрабатываются счетчики аэроионов, которые могут работать за полярным кругом и которые можно использовать для исследования аэроионизации в условиях, когда воздух загрязнен или относительная влажность очень высока (до 100 %)

Одной из основных проблем, которой длительное время занимались в Тартуском госуниверситете и которая в дальнейшем останется в плане научно-исследовательских работ проблемной лаборатории, является конструирование более точных счетчиков-спектрометров и их применение для исследования как естественной, так и искусственной (климатические камеры, заводы и т. д.) ионизации.

В связи с этим следует исследовать влияние аэроионов и заряженных частиц аэрозолей на жизненные проявления организма и целесообразное использование различий аэрозолей и электроаэрозолей при ингаляции, т. е. в аэрозольной и электроаэрозольной терапии, особенно при тяжелых нарушениях деятельности дыхательных органов.

Чтобы исследовать влияние аэроионов и электроаэрозолей на живые организмы, пришлось в первую очередь сконструировать весьма различные генераторы аэроионов и электроаэрозолей, с помощью которых было бы возможно эффективно ионизировать воздух, кислород или заряжать частицы аэрозолей, которые получают при распылении жидкостей (водные растворы медикаментов и т. д.)

Одним из первых аэроионизаторов, разработанных в Тартуском госуниверситете, был высокочастотный электроэффлювиальный коронный аэроионизатор. Здесь ионизация воздуха происходит под действием импульсов выпрямленного высокочастотного высокого напряжения. Аэроионизаторы, разработанные на основе принципа коронной ионизации, были позднее усовершенствованы в отношении конструкции, а также были уменьшены их габариты.

Простым по своей конструкции является разработанный в Тарту термоионизатор, где ионизация воздуха создается посредством накаливаемой в сильном электрическом поле нити накала, причем ионизированный воздух разносится в помещении в основном конвекционными потоками.

Этот термоионизатор отличается по конструкции от бывшего ранее в употреблении термоионизатора немецкого биофизика Дессауэра.

В Тартуском госуниверситете были также проведены некоторые усовершенствования радиоактивного аэроионизатора

А. Б. Вериго и был разработан аэроионизатор с ультрафиолетовым излучателем, который позволяет униполярно ионизировать воздух в больших помещениях, в то же время ультрафиолетовые лучи обладают полезным биологическим действием, причем исключено вредное для глаз прямое излучение. Такие ионизаторы можно успешно использовать в климатических камерах и на фермах, где необходимо в больших помещениях более или менее равномерно рассеивать ультрафиолетовые лучи.

Для того, чтобы использовать электроаэрозоли для регулирования влажности в больших жилых и рабочих помещениях и для осаждения пыли, автором были сконструированы соответствующие гидроаэроионизаторы, с помощью которых можно в помещениях, где имеется водопровод, создавать либо отрицательную, либо положительную, а также биполярную ионизацию. Ионизация создается распылением воды в электрическом поле.

Ранее в Советском Союзе использовали только такие гидроаэроионизаторы, которые работали на баллозлектрическом эффекте и давали биполярную ионизацию с небольшим перевесом отрицательных зарядов.

Поскольку новые гидроаэроионизаторы позволяют очень быстро и в широких пределах изменять ионизационную обстановку помещений, в Тартуском госуниверситете начали разрабатывать электроаэрозольные генераторы для самых различных целей.

Одной из важнейших задач Проблемной лаборатории аэроионизации и электроаэрозолей Тартуского госуниверситета является разработка различных новых генераторов электроаэрозолей для их широкого применения в народном хозяйстве.

Из электроаэрозольных генераторов, сконструированных нами, следовало бы упомянуть т. н. паровой ингалятор-ионизатор, аэрозоль-ионизатор к аппарату искусственного дыхания и др.

Одной из сложных проблем, решенных в Тартуском госуниверситете, была ионизация кислорода в термоионизаторе специальной конструкции, рабочим режимом которого управляла автоматика.

Ионизированный кислород для лечения ранее не использовали, т. к. не было соответствующей аппаратуры. Под руководством автора в 1956 году такой аппарат был сконструирован.

Э. Раудам интересовал вопрос, возможно ли путем ионизации кислорода сочетание действия аэроионов с действием кислорода для создания нового метода лечения кислородом. Была выдвинута гипотеза, что отрицательно ионизированный кислород, по сравнению с обычным кислородом, должен оказывать на организм более интенсивное действие, как это показали опыты с вдыханием ионизированного воздуха (Л. Л. Васильев и др.) Данные же о действии ионизированного кислорода при подкожном введении и вдыхании отсутствовали. Исследования Э. Рауд-



дама и его сотрудников показали, что отрицательно заряженный кислород (ингалированный в виде подкожных инъекций по 300 мл или комбинированными курсами в системе комплексного лечения) помогал предотвратить или уменьшить вазомоторные и другие вегетативные нарушения парализованных конечностей больных полиомиелитом.

Лечение ионизированным кислородом объединяет положительные стороны кислородной терапии и аэроионизации, вследствие чего такой метод лечения можно считать новой отраслью применения аэроионотерапии.

Аэроионизаторы, электроаэрозольные генераторы, счетчики и спектрометры атмосферных ионов, индикаторы аэроионов, нейтрализаторы статического электричества, установки для электростатической окраски, аэрозольные и электроаэрозольные генераторы к аппаратам искусственного дыхания и т. д., начиная с 1956 года, экспонировались на Выставке достижений народного хозяйства и на советских выставках в Праге, Лондоне, Париже и на всемирной выставке в Брюсселе. Авторы этих экспонатов, а также Тартуский госуниверситет неоднократно награждались медалями и дипломами.

Многие аппараты и методы исследования, разработанные в Тартуском госуниверситете, нашли практическое применение во многих научно-исследовательских институтах, государственных организациях, в промышленности, сельском хозяйстве и медицине.

Благодаря структуре Тартуского госуниверситета, включающей в себя и медицинский факультет, создавалась возможность совместной работы кафедры общей физики физико-химического факультета, при которой имеется Проблемная лаборатория аэроионизации и электроаэрозолей, с кафедрами медицинского факультета.

Наиболее широко была поставлена совместная работа по аэроионо- и электроаэрозоль-терапии с кафедрой болезней уха, горла, носа (зав. кафедрой Э. Сийрде) и кафедрой неврологии и нейрохирургии (зав. кафедрой Э. Раудам).

Известно, что у больных, находящихся в жизнеопасном состоянии, и с параличом дыхания, а также у больных, дышащих с помощью аппарата искусственного дыхания, наиболее частой причиной смерти являются легочные осложнения (ателектазы, бронхопневмония) (Н. С. Lassen, Л. М. Попова).

Поэтому Э. Раудам в 1958 г. с сотрудниками поставил задачу разработать метод, с помощью которого было бы возможно эффективно бороться с легочными осложнениями. Имевшиеся в то время устройства были примитивны и не обеспечивали проведения аэрозольной терапии у больных с нарушениями дыхательных функций. Аэрозольные установки для аппарата искусственного дыхания, работающего по принципу объема и давления, до

1958 года не были созданы. Электроаэрозоли, обладающие большим лечебным эффектом по сравнению с аэрозолями, для больных полиомиелитом, а также для других больных, дышащих с помощью аппарата искусственного дыхания, по данным литературы вообще не применялись и аппаратов соответствующей конструкции не было. В результате совместной работы автора с Э. Таммом в конце 1958 года было сконструировано аэрозольное и электроаэрозольное устройство к аппарату искусственного дыхания. С помощью этой аппаратуры и разработанной Э. Раудамом методики аэрозольной и электроаэрозольной терапии, начиная с 1959 года, удалось значительно снизить число легочных осложнений. Одновременно значительно сократилось число смертных случаев из-за легочных осложнений у больных полиомиелитом.

Проведены клинико-физиологические исследования для выяснения влияния электроаэрозолей на некоторые функции организма больных полиомиелитом. Отрицательно заряженные аэрозоли имеют ряд преимуществ по сравнению с искусственно не заряженными аэрозолями, а именно: способствуют ускорению движения ресничек мерцательного эпителия (Э. Сийрде). Наблюдения показали, что после вдыхания отрицательно заряженного аэрозоля самочувствие больных в большинстве случаев улучшалось, но никогда не ухудшалось. Применяя в течение нескольких лет (1959—1964 гг.) аэрозольную и электроаэрозольную терапию у больных с жизнеопасными формами энцефалита и другими неврологическими заболеваниями, был достигнут заметный успех в лечении и профилактике легочных осложнений. Если в 1959—1960 гг. легочные осложнения были причиной смерти у 50% умерших вследствие указанных болезней, то в 1962—1964 гг. легочные осложнения составляли 11% причин смерти. Если до начала применения аэрозолей и электроаэрозолей легочные осложнения у больных полиомиелитом и других больных, нуждающихся в респираторной помощи, были серьезной диагностической и терапевтической проблемой, то теперь они наблюдаются редко. Эти результаты достигнуты благодаря тому, что при аэрозольной и электроаэрозольной терапии исключается задержка секрета в дыхательных путях.

Первое сконструированное электроаэрозольное устройство было включено последовательно с аппаратом искусственного дыхания, т. е. между больным и аппаратом искусственного дыхания. По клиническим наблюдениям система последовательного включения аэрозольного устройства не затрудняла дыхания больного, но при выдохе аппарат искусственного дыхания засорялся аэрозолями. С 1964 года используется усовершенствованное электроаэрозольное устройство, оно включается параллельно с аппаратом искусственного дыхания. Установка снабжена соответствующей автоматикой, которая предотвращает засорение

аппарата. Во время работы аэрозольного устройства у больного не увеличивается мертвое пространство дыхательных путей. Упомянутый электроаэрозольный генератор был в 1964 г. рекомендован Комитетом по координации и внедрению новой техники Минздрава СССР для применения при всех аппаратах искусственного дыхания типов ДП-1 и ДП-2, соответственно модернизированных. В настоящее время разработаны новые аэрозольные и электроаэрозольные генераторы ко всем отечественным (РО-2) и зарубежным (Энгстрем) аппаратам искусственного дыхания. В апреле 1967 г. они были рекомендованы ВНИИМП уже вторично для применения в клиниках.

Наряду с внедрением электроаэрозольной и аэрозольной терапии при лечении полиомиелита, Э. Раудам с сотрудниками применили этот метод при лечении нейрохирургических и других заболеваний. Нет сомнения, что этот метод лечения, после внедрения в серийное производство соответствующей аппаратуры, будет применяться не только для больных, нуждающихся в респираторной помощи, но и во всех тех случаях, когда необходимо предупредить или излечить легочные осложнения, так как генератор электроаэрозолей можно применять и при самостоятельном дыхании больных через носовой зонд, маску или через трахеальную канюлю.

Кроме исследований Э. Раудам о применении аэрозолей и электроаэрозолей в аппаратах искусственного дыхания, Э. Сийрде провел обширные исследования влияния аэрозолей и электроаэрозолей на многих людей и осуществил контрольные опыты над животными. Так, например, исследовалось действие некоторых медикаментов на слизистую оболочку пищевода лягушки, применяя их как в виде обычного аэрозоля, так и электроаэрозоля. Аэрозоли изготовлялись из водопроводной и дистиллированной воды, из водных растворов новокаина, пенициллина и уретана в различных концентрациях. Оказалось, что применение медикаментов в виде обычных аэрозолей понижает, а в случае преимущественно отрицательно заряженного аэрозоля увеличивает активность ресничного эпителия.

Следовательно, применение медикаментов в виде аэрозолей может вызвать в слизистой оболочке дыхательных путей изменения, не соответствующие нормальному защитному механизму, а именно: понижение активности ресничного эпителия. При воздействии их в виде отрицательных электроаэрозолей на слизистую оболочку в последней обнаруживаются изменения, соответствующие нормальному защитному механизму слизистой оболочки дыхательных путей, — сохранность или повышение активности ресничного эпителия. Основываясь на этих данных, можно утверждать, что при лечении оториноларингологических заболеваний аэрозолям следует предпочитать отрицательные электроаэрозоли.

По данным А. Йентса и Л. Виснапуу, при ингаляции электроаэрозолей с плотностью заряда  $10^7$  эл. зар./см<sup>3</sup> в дыхательных путях и органах задерживается 80—90% вдыхаемого заряда. Установлено, что чем глубже дыхание и чем больше плотность заряда вдыхаемых электроаэрозолей, тем больше задержка зарядов в организме. При этом при вдыхании электроаэрозолей через рот заряды задерживаются в большей мере, чем при вдыхании через нос.

Наблюдения А. Йентса люминесцентным методом на человеке показали, что ингалированный 0,5% водный раствор флуоресцина в виде аэрозолей задерживается на здоровой слизистой оболочке верхних дыхательных путей в течение 7—9 часов, а при патологических состояниях даже дольше. Раствор флуоресцина, ингалированный в виде отрицательных электроаэрозолей, удаляется со слизистой оболочки быстрее, чем в случае аэрозолей; выделение первого с мочой происходило тоже быстрее (в течение 5—7 часов), чем при аэрозолях (7—9 часов).

По исследованиям С. Ф. Сибуль электроаэрозоли дистиллированной воды вызывали у подопытного животного (собака без мочевого пузыря по Павлову—Орбели) большие изменения рН мочи, чем незаряженные аэрозоли. Таким образом, изменения рН, обусловленные отрицательными электроаэрозолями, отражают усиление окислительных процессов в организме.

Лечение аэрозолями различных водных растворов медикаментов, главным образом антибиотиков, постоянно применялось при острых и хронических воспалениях дыхательных путей. По клиническим наблюдениям, применение в указанных случаях аэрозолей пенициллина и стрептомицина дает иногда лучшие результаты, чем инъекции этих антибиотиков. При лечении хронических и острых неспецифических воспалений верхних дыхательных путей электроаэрозолями антибиотиков были получены лучшие результаты, чем в случае аэрозолей.

Вышеприведенные наблюдения свидетельствуют о том, что отрицательные электроаэрозоли оказывают также местное воздействие на слизистые оболочки дыхательных путей, что соответствует физиологическим защитным механизмам. При электроаэрозолях, кроме действия медикаментов, имеет место также нормализующее действие отрицательных зарядов в организме, вследствие чего в ежедневной практике электроаэрозоли заслуживают гораздо большего применения.

Одной из актуальных проблем является исследование возможностей использования электроаэрозолей для дезинфекционных работ. Необходимо создать новые мощные электроаэрозольные генераторы, которые можно с успехом использовать как в ветеринарии, так и в медицине для дезинфекции больших помещений и борьбы со многими заразными заболеваниями.

Серьезное внимание следует обратить также на проблемы,

которые в наши дни служат причиной беспокойства на производстве, парализуя производственные процессы (возникновение статического электричества в химической промышленности и т. д.), или мешают внедрению новой технологии с широким применением новых материалов, как, например, при электростатической окраске пластмассовых деталей и др.

Резюмируя, можно охарактеризовать результаты, полученные в вышеупомянутых работах, следующим образом: разработаны теоретические основы аппаратуры для определения ионизации воздуха (газа) и аэрозолей, сконструированы приборы для измерения плотности заряда и электропроводности (спектрометры, счетчики, детекторы ионизации и т. д.). в практике (в медицине, промышленности, сельском хозяйстве) применяются новые генераторы ионов и электроаэрозолей.

В результате теоретических и экспериментальных научно-исследовательских работ удалось создать новые счетчики и спектрометры ионов воздуха и электроаэрозолей (см. авт. св. №№ 120272, 147822, 151071 и 212374), которые применяются в различных государственных организациях и научно-исследовательских институтах для исследования атмосферной ионизации (радиоактивное загрязнение). искусственной ионизации и плотности заряда электроаэрозолей.

Совместно с исследованиями атмосферной ионизации изучались как теоретически, так и практически проблемы, граничащие с воздушной ионизацией, и возможности применения необходимой аппаратуры для их изучения, а также предложены новые точки зрения для обработки материалов наблюдений по атмосферной ионизации (Х. Таммет).

Исследовались физические основы отличий аэрозолей и электроаэрозолей. На основе этих исследований уже в ранних работах опровергнута как теоретически, так и экспериментально теория атмосферного электричества В. Д. Решетова (В. Краав)

Сконструированы аэроионизаторы, индикаторы для контроля рабочего режима ионизаторов и электроаэрозольные генераторы (авт. св. №№ 108852, 122642, 193690 и 211035). Определены физические параметры новых аэроионизаторов и теоретически рассмотрены вопросы рассеивания электрически заряженных частиц в помещении.

Создан портативный аэрозоль-ионизатор (авт. св. № 123636), который Э. Сийрде (докторская диссертация) и его сотрудники (см. кандидатскую диссертацию А. Йентса) применили совместно с ранее сконструированными аэроионизаторами и электроаэрозольными генераторами в медицинской практике, особенно в оториноларингологии.

Наиболее успешно, впервые в мире, применяются Э. Раудомом и его сотрудниками в медицинской практике аэрозольные и электроаэрозольные генераторы к аппаратам искусственного ды-



хания (авт. св. №№ 131456 и 192365) в Тартуском республиканском респираторном центре ЭССР (см. материалы докторской диссертации Э Раудам).

Э. Раудам применил впервые также ионизированный кислород для лечения больных полиомиелитом.

Исследованы применяемые в хроматографии водородно-пламенные и аргоновые детекторы. Детектор (авт. св. № 751100) нового типа имеет существенные преимущества в промышленных серийных анализах перед ранее известными детекторами.

Чтобы успешно внедрять электроаэрозоли в народное хозяйство, исследовалось электрическое заряджение жидкостей индукционным методом.

Проведенные исследования позволяют сконструировать электроаэрозольные генераторы, которые можно применять на животноводческих фермах при лечении легочных заболеваний животных, в профилактике и дезинфекции помещений (авт. св. № 211035)

Исследования по газовому разряду посвящены изучению начальных стадий разряда с острия в воздухе, главным образом высокочастотного. Показано, что промежуточные фазы ВЧ разряда, ВЧ вспышки могут развиваться из стримеров или незавершенных стримеров положительной короны. Разработаны методы для наблюдения фаз развития ВЧ остриевого разряда вплоть до установившихся форм — ВЧ короны или факельного разряда. Выявлены некоторые возможности практического применения остриевых разрядов (ВЧ счетчик Гейгера, индикатор галоидов и др.)

Для нейтрализации вредных электростатических зарядов в промышленности автором разработан новый эффективный нейтрализатор (авт. св. № 165848), позволяющий заменить дорогие и опасные радиоактивные нейтрализаторы коронными нейтрализаторами. Новый мощный индукционно-коронный нейтрализатор успешно применяется на Красногородском экспериментальном бумажном комбинате.

Метод создания электроаэрозолей с помощью ультразвука был также разработан автором в Тартуском госуниверситете. Так как дисперсность аэрозолей зависит от частоты ультразвука, то благодаря этому можно регулировать осаждение частиц в дыхательных путях.

По сравнению с аэрозолями электроаэрозоли можно успешнее применять в промышленности, сельском хозяйстве и в других областях. Так, например, у электроаэрозолей большие преимущества при дезинфекционных работах, так как частицы электроаэрозолей рассеиваются более интенсивно.

Разработаны электроаэрозольные генераторы для дезинфекционных работ, которые получили положительную оценку Все-

союзного научно-исследовательского института ветеринарной санитарии и которые успешно применяются в этом институте.

Предложен новый метод и аппаратура для окраски водо-эмульсионными красками в электрическом поле (авт. св. № 204 196) Метод позволяет в значительной степени экономить краску и улучшить санитарно-гигиенические условия на соответствующих предприятиях.

Кроме того, предложен новый способ нанесения покрытий на диэлектрические поверхности в электростатическом поле, что особенно важно в первую очередь в связи с все большим применением пластмасс (авт. св. № 240505).

Так как в данной статье невозможно дать исчерпывающий обзор всех проблем рассмотренной тематики, которыми в последнее время занимаются в Тарту, в конце приведен перечень важнейших наших работ, опубликованных в печати,\* чтобы читатель, соответственно своим интересам, мог ближе с ними ознакомиться.

Автор считает своим долгом выразить благодарность аспиранту Л. Виснапуу за тщательный просмотр рукописи и существенные замечания.

#### Авторефераты диссертаций

**Рейнет, Я. Ю.**, Об изменениях ионизации атмосферы в гор. Тарту. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. Тарту, 1958.

**Таммет, Х. Ф.**, Аспирационный метод изучения ионизированного воздуха и аэрозолей. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. Тарту, 1964.

**Прюллер, П. К.**, Исследование спектра атмосферных ионов и электроаэрозолей по данным измерений в г. Тарту. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. Ленинград, 1969.

**Иентс, А. К.**, Экспериментальные и клинические исследования действия аэрозолей и электроаэрозолей. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата медицинских наук. Тарту, 1967.

**Раудам, Э. И.**, Острые вирусные нейроинфекции в Эстонской ССР (Клиника, лечение, вопросы эпидемиологии и профилактики). Доклад, обобщающий опубликованные труды, представленные для защиты на соискание ученой степени доктора медицинских наук. Тарту, 1967.

**Сийрде, Э. К.**, Аэро- и гидроионы в оториноларингологии. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора медицинских наук. Ленинград, 1963.

**Каарма, А. И.**, Усовершенствование мер борьбы с метастронгилезом свиней в условиях ЭССР. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата ветеринарных наук. Тарту, 1962.

---

\* Из рукописных работ упомянуты только авторефераты докторских и кандидатских диссертаций.

**Преображенский, Б. С., Лихачев, А. Г., Светлаков, М. И., Преображенский, Н. А.** Обзор доклада Э. К. Сийрде. VII Международный конгресс оториноларингологов. — Вестник оториноларингологии, 1962, 1, 22.

**Прюллер, П. К., Раудам, Э. И., Рейнет, Я. Ю., Сийрде, Э. К.,** Генерирование, физиологическое действие и терапевтическое применение электроаэрозолей. — Тр. Лен. о-ва естествоиспытателей. Изд. Лен. ун-та, Л., 1963, 74, 1, 100—104.

**Прюллер, П. К., Рейнет, Я. Ю., Сакс, О. В.,** Краткий обзор исследовательской работы в области аэроионизации и электроаэрозолей в Тартуском государственном университете. — Тр. Лен. о-ва естествоиспытателей. Изд. Лен. ун-та, Л., 1963, 74, 1, 97—100.

**Прюллер, П.,** Атмосферное электричество. — Физика атмосферы в Эстонской ССР в 1940—1966 гг. Ин-т физики и астрономии АН ЭССР, 1969, 69—80.

**Рейнет, Я. Ю.,** Новые приборы для аэроионо- и аэрозольтерапии и для ликвидации статических зарядов. — Материалы респ. совещ. по вопросам перспективного развития приборостроения и средств автоматизации в Эстонской ССР, состоявшегося в г. Тарту 22—24 мая 1958 г. Таллин, 1958, 103—106.

**Рейнет, Я.,** Применение аэрозолей и электроаэрозолей в медицине, промышленности и сельском хозяйстве. — Сб. сообщений математиков и физиков ЭССР на II научн.-пед. конфер. Тарту, 1962, 84—88 (на эстонск. яз.).

**Рейнет, Я., Прюллер, П., Сакс, О.,** О научно-исследовательской работе в области аэроионизации и электроаэрозолей в Тартуском государственном университете. — Сб. сообщений математиков и физиков ЭССР на II научн.-пед. конфер. Тарту, 1962, 89—96 (на эстонск. яз.).

**Рейнет, Я. Ю., Прюллер, П. К., Сакс, О. В.,** О научно-исследовательских работах в области естественной и искусственной аэроионизации и электроаэрозолей в Тартуском государственном университете. — Уч. зап. ТГУ, Тарту, 1963, 140, 3—15.

**Рейнет, Я. Ю., Прюллер, П. К., Раудам, Э. И., Сийрде, Э. К.,** Применение электроаэрозолей в медицине. — Материалы I Всесоюзн. симпозиума по применению аэрозолей в медицине. М., 1963, 66.

**Рейнет, Я. Ю., Прюллер, П. К., Сийрде, Э. К., Раудам, Э. И., Рийв, Я. Я.,** Рецензия на книгу члена-корреспондента АМН СССР проф. А. А. Минха «Ионизация воздуха и ее гигиеническое значение». — Здравоохранение Белоруссии, 1964, 5, 90—91.

**Рейнет, Я.,** Об исследовательских работах по электроаэрозолям в Тартуском государственном университете. — Резюме докладов III научн.-пед. конфер. «Основные вопросы развития и методики точных наук в Эстонской ССР». Тарту, 1965, 77—83 (на эстонск. яз.).

**Рейнет, Я.,** О работе Проблемной лаборатории аэроионизации и электроаэрозолей ТГУ. — О-во естествоиспытателей при АН ЭССР О работах физиков Советской Эстонии. Таллин, 1968, 5, 31—40 (на эстонск. яз.).

**Сийрде, Э. К.,** О трудах по аэроионизации, аэрозолям и электроаэрозолям, выполненных на медицинском факультете Тартуского государственного ун-та. — Уч. зап. ТГУ, Тарту, 1966, 191, 234—251.

### Ионизация атмосферы, биометеорология

**Марран, Х.,** Об исследовании связи между плотностью атмосферных ионов и метеорологическими элементами. — Уч. зап. ТГУ, Тарту, 1958, 59, 108—138.

**Митт, А.,** Колебания плотности молионов в атмосфере г. Тарту за 1937 год. — Уч. зап. ТГУ, 1946, 2, 3—43.

**Прюллер, П. К., Сакс, О. В., Рийв, Я. Я.,** Ионизация атмосферы и метеорологические факторы гор. Тарту (ЭССР) с августа 1960 г. по декабрь 1962 г.

и их гигиеническое значение. — Материалы научн. конфер. по проблеме «Аэроионизация в гигиене труда». Л., 1963, 116—117.

**Приоллер, П. К., Рийв, Я. Я.**, О влиянии аэроионизации и других метеорологических факторов на заболеваемость. — Тезисы докладов VI респ. научн. конфер. по курортологии и физиотерапии в гор. Пярну. Таллин, 1963, 47—48.

**Приоллер, П., Рийв, Я.**, О связях ионизации атмосферы и других метеорологических факторов с заболеваемостью и смертностью. — Уч. зап. ТГУ. Тарту, 1963, 134, 50.

**Приоллер, П. К., Рийв, Я. Я.**, Медицинское значение метеорологических элементов и типов погоды. — Уч. зап. ТГУ. Тарту, 1965, 178, 27—35.

**Приоллер, П. К.**, Ионизация атмосферного воздуха и ее гигиеническое и курортологическое значение. — Материалы VII Эст. респ. научн. конфер. по курортологии и физиотерапии. Пярну, 1966, 145—148.

**Приоллер, П. К., Сакс, О. В., Рийв, Я. Я.**, Ионизация атмосферы и метеорологические элементы в г. Тарту с августа 1960 г. по июль 1963 г. и их гигиеническое значение. — Аэроионизация в гигиене труда. Л., 1966, 195—198.

**Рейнет, Я. Ю.** Об изменениях ионизации атмосферы в г. Тарту в течение годовичного периода. — Уч. зап. ТГУ. Тарту, 1958, 59, 71—107.

**Рейнет, Я.**, Об изучении атмосферной ионизации в г. Тарту. — Первая конференция секции точных наук. О-во естествоиспытателей при АН ЭССР Тарту, 1959, 29—39 (на эстонск. яз.).

**Рейнет, Я.**, Характеристика плотности легких ионов. — О-во естествоиспытателей при АН ЭССР Природа и математика. Тарту, 1959, 1, 93—122.

**Рейнет, Я. Ю.**, О возможностях изучения ионизации воздуха прибалтийских курортов и некоторые данные об исследовательской работе в этой области. — Материалы VII Эст. респ. научн. конфер. по курортологии и физиотерапии. Пярну, 1966, 155—159.

#### Теоретические работы, аппарата и методика

**Виснапуу, Л. Ю., Йентс, А. К.**, Физические характеристики различных электроаэрозольных аппаратов, применяемых в медицинской практике. — Уч. зап. ТГУ, Тарту, 1964, 163, 404—412.

**Виснапуу, Л. Ю., Рейнет, Я. Ю.**, Устройство для получения конденсационных аэрозолей. — Материалы (тезисы) Всесоюзн. научн.-техн. конфер. по применению аэрозолей в народном хозяйстве. М., 1967, 36.

**Виснапуу, Л. Ю.**, Устройство для получения аэрозолей. — Медицинская техника, 1968, 5, 26—29.

**Йентс, А. К., Виснапуу, Л. Ю.**, Об измерениях плотности заряда в выдыхаемом воздухе при ингаляции электроаэрозолей. — Уч. зап. ТГУ. Тарту, 1964, 163, 399—403.

**Карк, В. Я., Пауксон, Э. Э., Рейнет, Я. Ю.**, Получение электроаэрозолей ультразвуковым распылением. — Уч. зап. ТГУ. Тарту, 1963, 140, 96—102.

**Краав, В. И.**, Об аэрозольной теории атмосферного электричества. — Тр. Гл. геофиз. обсерв. им. А. И. Воейкова, Л., 1961, 120, 73—77.

**Краав, В. И.**, Поиски характеристик, определяющих электрические заряды капелек различных растворов. — Тр. Гл. геофиз. обсерв. им. А. И. Воейкова Л., 1963, 146, 28—31.

**Куду, К. Ф.**, О начальных стадиях разряда с острия в воздухе. Тарту, 1960, 3—55.

**Куду, К. Ф., Веймер, В. А.**, О влиянии неоднородности электрического поля на вероятность возникновения стримеров. — Материалы седьмой математической и седьмой физической межвузовских научн. конфер. Дальнего Востока. Хабаровск, 1968, 140—141.

**Лепик, М. Э., Сальм, Я. И., Таммет, Х. Ф.**, Применение методов измерения аэроионизации в курортологии. — Материалы VII Эст. респ. научн. конфер. по курортологии и физиотерапии. Пярну, 1966, 92—93.

Лоог, П. К., Мадисе, Т. В., Мяртинсон, Э. В., Пиквер, Р. И., Резбен, В. А., Сакс, О. В., Сальм, Я. И., Таммет, Х. Ф., О динамических электрометрах, сконструированных в Тартуском государственном университете. — Тезисы докладов Всесоюз. научн.-техн. совещ. по радиоэлектронным методам измерений электрических напряжений и омических сопротивлений. Таллин, 1964, 29—30.

Лоог, П. К., Пиквер, Р. И., Резбен, В. А., Сакс, О. В., Тераомметр с радиоактивным генератором тока. — Измерительная техника, 1965, 6, 28—31.

Лоог, П. К., Пиквер, Р. И., Резбен, В. А., Сакс, О. В., Тераомметр с радиоактивным генератором тока. — Приборы и средства автоматизации. М., 1965, 8, 37—48.

Лоог, П. К., Мадисе, Т. В., Мяртинсон, Э. В., Пиквер, Р. И., Резбен, В. А., Сакс, О. В., Сальм, Я. И., Таммет, Х. Ф., Электрометры с виброемкостным преобразователем, разработанные в Тартуском государственном университете. — Материалы Всесоюз. научн.-техн. совещ. по радиоэлектронным методам измерений электрических напряжений и омических сопротивлений. Таллин, 1965, 58—67.

Паэ, А. Я., Рейнет, Я. Ю., Резбен, В. А., Тамм, Э. И., Ионизатор медицинского кислорода с автоматической стабилизацией температуры накаливаемой проволоки. — 1) Всесоюз. конфер. по аэро- и гидроаэроионизации. Тезисы докладов. Ташкент, 1960, 149—150; 2) Аэроионизация и гидроаэроионизация в медицине. Ташкент, 1962, 265—268.

Прюллер, П. К., Рейнет, Я. Ю., Кийс, В. Ю., Высоочастотный электроэффлювиальный ионизатор. — Передовой научно-технический и производственный опыт. Тема 34, № П-57-24/6. М., 1957, 3—9.

Прюллер, П. К., Аэрозоль-ионизатор. — 1) Второе научн. совещ., посвящ. физиологическому действию и терапевтическому применению аэроионов. Тезисы докладов. Рига, 1957, 75—76; 2) Тр. ин-та экспериментальной и клинической медицины АН Латв. ССР, Рига, 1959, 20, 37—43.

Прюллер, П., Рейнет, Я., О концентрации зарядов и полярности аэрозолей и электроаэрозолей водных растворов антибиотиков, применяемых для лечения. — Научная конфер. мед. фак. ТГУ Тезисы докладов. Тарту, 1960, 44—45.

Прюллер, П., Рейнет, Я., Физические обоснования различия физиологического действия аэрозолей и электроаэрозолей. — Уч. зап. ТГУ. Тарту, 1961 112, 7—14.

Прюллер, П. К., Рейнет, Я. Ю., О физических показателях аэрозолей, применяемых в медицине. — Материалы (тезисы) Всесоюз. научн.-техн. конфер. по применению аэрозолей в народном хозяйстве. М., 1967, 170—172.

Рейнет, Я. Ю., Комбинированный счетчик атмосферных ионов. — Приборы и стенды. Тема 4, № ПС-55-409. М., 1955, 1—17.

Рейнет, Я. Ю., Комбинированный счетчик атмосферных ионов. — Тр. Гл. геофиз. обсерв. им. А. И. Воейкова, 1956, 58, 23—30.

Рейнет, Я. Ю., Гидроионизатор. — Передовой научно-технический и производственный опыт. Тема 34, № П-57-28/7. М., 1957, 3—11.

Рейнет, Я. Ю., Ионизатор кислорода и возможности его применения в медицине. — Научн. сессия ТГУ. Тезисы докладов. Тарту, 1957, 50—51.

Рейнет, Я. Ю., Усовершенствование аэроионизаторов профессора А. Б. Вериги. — Передовой научно-технический и производственный опыт. Тема 34, № П-57-28/7. М., 1957, 25—27.

Рейнет, Я. Ю., Установка для ионизации воздуха в помещении. — Передовой научно-технический и производственный опыт. Тема 34, № П-57-28/7. М., 1957, 19—24.

Рейнет, Я. Ю., Митт, А. М., Марран, Х. Э., Термоионизатор для униполярной аэроионизации воздуха. — Передовой научно-технический и производственный опыт. Тема 34, № П-57-28/7. М., 1957, 12—18.

Рейнет, Я., Новая аппаратура и методика для определения плотности аэро- и гидроаэроионов в атмосфере. — Уч. зап. ТГУ. 1958, 59, 41—70.

Рейнет, Я. Ю., Вальт, Л. О., О методах униполярного ионизирования воздуха посредством аэроионизаторов. — Вторая Всесоюз. конфер. по газовой электронике. Аннотация докладов. М., 1958, 38.



**Рейнет, Я.**, Аэроионизаторы и их применение в производстве. — Техника я тоотмине. 1959, 12, 26—30 (на эстонск. яз.).

**Рейнет, Я. Ю.**, Новая аппаратура и методика для определения концентрации аэро- и гидроионов в атмосфере. — Тр. Ин-та экспериментальной и клинической медицины АН Латв. ССР Рига, 1959, 20, 45—52.

**Рейнет, Я. Ю.**, О новых аэроионизаторах, сконструированных в лаборатории аэроионизации ТГУ — Тр. ин-та экспериментальной и клинической медицины АН Латв. ССР Рига, 1959, 20, 31—35.

**Рейнет, Я. Ю., Таммет, Х. Ф., Вальт, Л. О.**, О методах униполярного ионизирования воздуха посредством аэроионизаторов. — Радиотехника и электроника, 1959, 8, 1335—1338.

**Рейнет, Я. Ю.**, Новые аэрозоль- и аэроионизаторы, успешно применяемые в медицинской практике в Тартуских клиниках. — 1) Всесоюзн. конфер. по аэро- и гидроаэроионизации. Тезисы докладов. Ташкент, 1960, 140—141; 2) Аэроионизация и гидроаэроионизация в медицине. Ташкент, 1962, 238—239.

**Рейнет, Я. Ю.**, Новый портативный счетчик гидро- и аэроионов, пригодный для определения зарядов электроаэрозолей. — Всесоюзн. конфер. по аэро- и гидроаэроионизации. Тезисы докладов. Ташкент, 1960, 137—138.

**Рейнет, Я. Ю.**, Некоторые требования относительно условий измерения спектра атмосферных ионов аспирационным методом. — Всесоюзн. научн. метеорол. совещ. Тезисы докладов. Л., 1961, 55.

**Рейнет, Я. Ю.**, Новый портативный счетчик гидро- и аэроионов, пригодный для определения зарядов электроаэрозолей. — Аэроионизация и гидроаэроионизация в медицине. Ташкент, 1962, 232—235.

**Рейнет, Я. Ю.**, Спектрометр атмосферных гидро- и аэроионов. — Передовой научно-технический и производственный опыт. Выпуск 5. Тема 33, № П-62-32/5. М., 1962, 1—6.

**Рейнет, Я. Ю.**, Некоторые требования относительно условий измерения спектра атмосферных ионов аспирационным методом. — Тр. Всесоюзн. научн.-метеорол. совещ. Л., 1963, 9, 313—321.

**Рейнет, Я. Ю., Тамм, Э. И., Сузи, А. К.**, Генератор электроаэрозолей для аппаратов искусственного дыхания типа ДП-1 и ДП-2. — Уч. зап. ТГУ, Тарту, 1963, 140, 81—89.

**Рейнет, Я. Ю., Резбен, В. А., Тамм, Э. И.**, Ионизатор медицинского кислорода. — Уч. зап. ТГУ, Тарту, 1963, 140, 71—80.

**Рейнет, Я. Ю., Таммет, Х. Ф., Сальм, Я. И.**, К методике изучения ионизации воздуха в курортологии и физиотерапии. — Материалы I респ. съезда физиотерапевтов и курортологов УССР, посвящ. 100-летию со дня рожд. проф. А. Е. Щербака. Киев, 1963, 124.

**Рейнет, Я. Ю., Сальм, Я. И.**, Переносный счетчик атмосферных ионов. — Уч. зап. ТГУ, Тарту, 1963, 140, 37—45.

**Рейнет, Я. Ю., Элгас, Ю. Ю., Виснапуу, Л. Ю.**, Способ создания электроаэрозолей с целью применения в медицине и гигиене труда. — Аэроионизация в гигиене труда. Л., 1963, 144—145.

**Рейнет, Я. Ю., Сакс, О. В., Сальм, Я. И.**, Снабженный динамическим электрометром портативный счетчик атмосферных ионов, работающий по методу разрядки. — Аэроионизация в гигиене труда. Л., 1966, 252—254.

**Рейнет, Я. Ю., Виснапуу, Л. Ю.**, Способ создания электроаэрозолей с целью применения в медицине и гигиене труда. — Аэроионизация в гигиене труда. Л., 1966, 250—252.

**Рейнет, Я. Ю., Сальм, Я. И.**, О применении аспирационных счетчиков для измерения плотности заряда аэрозолей и электроаэрозолей в климатических камерах. — Материалы (тезисы) Всесоюзн. научно-техн. конфер. по применению аэрозолей в народном хозяйстве. М., 1967, 36.

**Сакс, О.**, Автоматически действующий фотографический счетчик ионов. — Уч. зап. ТГУ, Тарту, 1956, 42, 84—93.

**Сакс, О. В.**, О конструкциях динамических конденсаторов, разработанных в Тартуском гос. университете для счетчиков атмосферных ионов. — Всесоюзн.

научн. метеорол. совещ. Секция приборов и методов наблюдения. Тезисы докладов. Л., 1961, 53.

**Сакс, О. В.**, О конструкции динамического конденсатора для счетчиков атмосферных ионов. — Тр. Всесоюзн. научн. метеорол. совещ. Л., 1963, 9, 303—306.

**Сакс, О. В.**, Емкостный вибропреобразователь ДК-62 для электрометрических усилителей. — Измерительная техника, 1966, 3, 51—53.

**Сальм, Я. И., Тамм, Э. И.**, О роторных гидроионизаторах. — Уч. зап. ТГУ, Тарту, 1963, 140, 62—70.

**Тамм, Э. И.**, О способе обработки материалов регистрации проводимости. — Тр. Гл. геофиз. обсерв. им. А. И. Воейкова, Л., 1960, 110, 75—78.

**Таммет, Х.**, Применение коронного разряда для ионизирования воздуха. — 1) Второе научн. совещ., посвящ. физиологическому действию и терапевтическому применению аэроионов. Тезисы докладов. Рига, 1957, 97—98; 2) Тр. ин-та экспериментальной и клинической медицины АН Латв. ССР, Рига, 1959, 20, 53—59.

**Таммет, Х. Ф.**, К вопросу создания аэроионизаторов и ионометров для широкого внедрения аэроионотерапии. — 1) Всесоюзн. конфер. по аэро- и гидроаэроионизации. Тезисы докладов. Ташкент, 1960, 144—145; 2) Аэроионизация и гидроаэроионизация в медицине. Ташкент, 1962, 250—256.

**Таммет, Х. Ф.**, К теории аспирационных счетчиков аэроионов. — Изв. АН СССР, сер. геофиз. 1960, 8, 1263—1270.

**Таммет, Х. Ф., Сеппер, Э. В.**, К теории электростатического флюксметра. — Тр. Гл. геофиз. обсерв. им. А. И. Воейкова, Л., 1960, 97, 97—100.

**Таммет, Х. Ф.**, Оптимальные параметры и режим работы аспирационных счетчиков аэроионов. — Всесоюзн. научн. метеорол. совещ. Секция приборов и методов наблюдений. Тезисы докладов. Л., 1961, 55—56.

**Таммет, Х. Ф.**, Аналитический метод обработки наблюдений при изучении распределения аэроионов по подвижностям. — Тр. Гл. геофиз. обсерв. им. А. И. Воейкова, Л., 1962, 136, 103—110.

**Таммет, Х. Ф.**, Искажающие эффекты в аспирационных счетчиках аэроионов. — Изв. АН СССР, сер. геофиз. 1962, 6, 845—853.

**Таммет, Х. Ф.**, К вопросу создания аэроионизаторов для широкого внедрения аэроионотерапии. — Аэроионизация и гидроаэроионизация в медицине. Ташкент, 1962, 250—256.

**Таммет, Х. Ф., Сальм, Я. И.**, Ионизирование воздуха больших помещений посредством проволочных антенн, питаемых аппаратом для франклинизации. — 1) Гигиена и санитария, 1962, 12, 93; 2) Материалы научн. конфер. по проблеме «Аэроионизация в гигиене труда». Л., 1963, 140—141; 3) Аэроионизация в гигиене труда. Л., 1966, 237—240.

**Таммет, Х. Ф.**, Воздействие объемного заряда в аспирационных счетчиках аэроионов. — Уч. зап. ТГУ, Тарту, 1963, 140, 46—61.

**Таммет, Х. Ф.**, К вопросу о схемах включения аспирационных счетчиков аэроионов. — Тр. Гл. геофиз. обсерв. им. А. И. Воейкова, Л., 1963, 146, 71—74.

**Таммет, Х. Ф.**, Индукционная электризация при распылении жидкостей. — Уч. зап. ТГУ, Тарту, 140, 1963, 90—95.

**Таммет, Х. Ф.**, Оптимальные параметры аспирационных счетчиков аэроионов. — Тр. Всесоюзн. научн. метеорол. совещ., Л., 1963, 9, 322—328.

**Таммет, Х. Ф.**, Удаление ионов от аэроионизаторов. — Уч. зап. ТГУ. Тарту, 1963, 140, 103—112.

**Таммет, Х. Ф., Салувере, Т. А.**, О горизонтальных составляющих атмосферного электрического поля вблизи ровной подстилающей поверхности. — Изв. АН СССР, сер. геофиз. 1963, 4, 654—656.

**Таммет, Х. Ф.**, Определение действующей емкости цилиндрического измерительного конденсатора аспирационного счетчика аэроионов. — Изв. АН СССР, сер. геофиз. 1964, 3, 436.

**Таммет, Х. Ф.**, Аспирационный метод измерения спектра аэроионов. — Уч. зап. ТГУ, Тарту, 1967, 195, 3—232.

**Таммет, Х. Ф.,** Счетчик аэроионов САИ-ТГУ-66. — Материалы (тезисы) Всесоюзн. научно-техн. конфер. по применению аэрозолей в народном хозяйстве. М., 1967, 36—37.

**Юпрус, Я. В., Краав, В. И., Элгас, Ю. Ю., Рейнет, Я. Ю.,** Об определении заряда и размеров частиц электроаэрозолей. — Аэроионизация в гигиене труда. Л., 1966, 255—257.

### Применение в медицине

**Вахтер, Х., Хуут, В., Лаксберг, Э., Туул, Х., Пыдер, П.,** О действии аэроионизации при лечении экземы и нейродермита. — 1) Второе научн. совещ., посвящ. физиологическому действию и терапевтическому применению аэроионов. Тезисы докладов. Рига, 1957, 16; 2) Тр. Ин-та экспериментальной медицины АН Латв. ССР, Рига, 1959, 20, 379—384.

**Вахтер, Х.,** О применении аэроионов отрицательного знака при лечении больных экземой и нейродермитом. — Вестник дерматологии и венерологии, 1960, 7, 27—30.

**Вахтер, Х. Т.,** Возможность лечебного применения аэроионов в дерматологии. — 1) Материалы научн. конфер. по проблеме «Аэроионизация в гигиене труда». Л., 1963, 84; 2) Аэроионизация в гигиене труда. Л., 1966, 106.

**Герасимова, К.,** Люминесцентно-колориметрические наблюдения над изменениями содержания адреналина в крови больных озенкой. — Уч. зап. ТГУ, Тарту, 1963, 134, 175—176.

**Герасимова, К.,** О наблюдениях над содержанием адреналина и норадреналина в крови больных озенкой. — Уч. зап. ТГУ, Тарту, 1964, 163, 513.

**Герасимова, К. В., Кярсгна, Х. А.,** О содержании адреналинового и норадреналинового ряда веществ в плазме крови в ходе ионотерапии больных озенкой. — Уч. зап. ТГУ, Тарту, 1965, 179, 263—266.

**Йентс, А.,** Об исследовании аэрозолей стрептомицина и парааминосалициловокислого натрия на основании макроскопических изменений экспериментального туберкулеза морских свинок. — Уч. зап. ТГУ, Тарту, 1961, 114, 204.

**Йентс, А.,** Сравнительные данные при помощи люминесцентного метода относительно задержки аэрозолей и электроаэрозолей на слизистых оболочках верхних дыхательных путей, а также их выделения с мочой. — Уч. зап. ТГУ, Тарту, 1961, 134, 54—59.

**Йентс, А. К.,** Экспериментальные макро- и микроскопические наблюдения над применением люминесцентного метода при исследовании аэрозолей. — II научн. конфер. оториноларингологов Советской Прибалтики. Материалы докладов. Рига, 1962, 96—98.

**Йентс, А. К.,** О задержке люминесцирующих электроаэрозолей в верхних дыхательных путях, об их всасывании и выделении из организма. — 1) Материалы научн. конфер. по проблеме «Аэроионизация в гигиене труда». Л., 1963, 30—31; 2) Аэроионизация в гигиене труда. Л., 1966, 36—38.

**Йентс, А.,** Клинико-лабораторные наблюдения о применении антибиотиков в виде аэрозолей. — Уч. зап. ТГУ, Тарту, 1963, 143, 156.

**Йентс, А.,** О макроскопических изменениях у зараженных туберкулезом подопытных животных при аэрозолотерапии стрептомицином и парааминосалициловокислым натрием. — Уч. зап. ТГУ, Тарту, 1963, 141, 113—122.

**Йентс, А.,** Опыт применения аэрозолей при лечении воспалений верхних дыхательных путей. — Здравоохранение Советской Эстонии, 1963, 6, 21—24.

**Йентс, А. К.,** О действии аэрозольной терапии на течение экспериментального туберкулеза. — Материалы VII респ. научно-практической конфер. фтизиатров, посвящ. 25-летию Советской Эстонии. Таллин, 1965, 45—47.

**Йентс, А. К., Виснапуу, Л. Ю.,** О некоторых результатах клинического применения аэрозолей различной электризации. — Уч. зап. ТГУ, Тарту, 1965, 179, 262.

**Йентс, А. К.,** Об изменениях температуры слизистой оболочки верхних дыхательных путей под влиянием отрицательной и биполярной электроаэрозоль-

терапии. — Материалы III межресп. конфер. оториноларингологов Латвийской, Литовской, Эстонской и Белорусской ССР. Рига, 1969, 229—230.

**Иентс, А. К.**, О результатах аэрозоль- и электроаэрозольтерапии неспецифических воспалений верхних дыхательных путей. — Материалы III межресп. конфер. оториноларингологов Латвийской, Литовской, Эстонской и Белорусской ССР. Рига, 1969, 226—228.

**Кольк, Х., Иентс, Э., Каяк, Р., Лоду, Э.**, Действие электроаэрозолей на динамику эозинофилов периферической крови. — Тезисы докладов VIII объединенной научн. студенческой конфер. высших мед. учебных заведений Белорусской и Прибалтийских Советских Соц. Республик. Минск, 1966, 161—162.

**Люга, Р., Куль, М.**, Об аэроионизационной терапии экспериментальной гипертонии. — Уч. зап. ТГУ. Тарту, 1961, 112, 14—15.

**Нутт, Х., Иентс, Э., Каяк, Р., Лоду, Э.**, Дополнение к материалам о механизмах действия электроаэрозолей. — Материалы студенческой научн. конфер. Тарту, 1967, 2, 50—53.

**Приллер, П. К., Рейнет, Я. Ю., Сийрде, Э. К., Герасимова, К. В., Иентс, А. К.**, О лечении заболеваний дыхательных путей аэроионизацией. — Научн. конфер. оториноларингологов Эстонской, Литовской и Латвийской ССР. Тезисы докладов. Рига, 1957, 48—49.

**Приллер, П., Рейнет, Я., Сийрде, Э., Герасимова, К., Иентс, А.**, Высоко-частотный электро-эффлювиальный аэроионизатор и клинические наблюдения применения его в медицинской практике. — Уч. зап. ТГУ, Тарту, 1958, 57, 3—16.

**Приллер, П., Сийрде, Э.**, Аэрозоль-ионизатор и действие электроаэрозолей на активность мерцательного эпителия пищевода лягушки. — Научн. конфер. мед. факультета ТГУ. Тезисы докладов. Тарту, 1959, 22—23.

**Приллер, П., Сийрде, Э., Иентс, А., Герасимова, К.**, О новом аэрозольном приборе и клинических наблюдениях при его применении. — Здравоохранение Советской Эстонии, 1959, 2, 32—35.

**Приллер, П. К., Раудам, Э. И., Рейнет, Я. Ю., Сийрде, Э. К.**, Генерирование, физиологическое действие и терапевтическое применение электроаэрозолей. — Уч. зап. ТГУ, Тарту, 1963, 140, 16—36.

**Пыдер, Х., Тууль, Х.**, Об изменениях реактивного состояния кожи у больных невротическим дерматозом в связи с аэроионизационным и аэрозольным лечением. — I объединенная научн. конфер. студенческих научных обществ мед. высших учебных заведений Прибалтийских республик и Белорусской ССР. Тезисы докладов. Каунас, 1958, 24.

**Раудам, Э. И., Рейнет, Я. Ю.**, О действии ионизированного кислорода на некоторые функции организма. — 1) Второе научн. совещ. посвящ. физиологическому действию и терапевтическому применению аэроионов. Тезисы докладов. Рига, 1957, 79; 2) Тр. ин-та экспериментальной медицины АН Латв. ССР, Рига, 20, 231—240.

**Раудам, Э., Рейнет, Я., Тикк, А., Вельди, А., Тамм, Э. И.**, О применении аэрозолей и электроаэрозолей в острой стадии полиомиелита. — Научн. конфер. мед. факультета ТГУ. Тезисы докладов. Тарту, 1959, 7—8.

**Раудам, Э. И., Рейнет, Я. Ю., Тикк, А. А., Вельди, А. Т., Тамм, Э. И.**, О применении аэрозолей и электроаэрозолей в острой стадии полиомиелита, особенно у подвергшихся трахеотомии больных. — Журнал невропатологии и психиатрии им. С. С. Корсакова, 1960, 60, 11, 1428—1434.

**Раудам, Э. И., Рейнет, Я. Ю.**, О применении гидроаэроионов, аэрозолей и электроаэрозолей у трахеотомированных больных с диагнозом полиомиелита. — 1) Всесоюзн. конфер. по аэро- и гидроаэроионизации. Тезисы докладов. Ташкент, 1960, 106—107; 2) Аэроионизация и гидроаэроионизация в медицине. Ташкент, 1962, 154.

**Раудам, Э. И.**, О применении ионизированного кислорода при лечении полиомиелита в восстановительной стадии. — Вопросы борьбы с последствиями полиомиелита. Тезисы и авторефераты докладов. Одесса, 1961, 21—22.

**Раудам, Э. И., Рейнет, Я. Ю.**, Ионизированный кислород и перспективы

его применения в медицинской практике. — Тезисы докладов V респ. конфер. по курортологии и физиотерапии (состоявшейся в г. Пярну 21—23 сентября 1961 г.). Таллин, 1961, 10.

**Раудам, Э. И., Паймре, Р. И.,** О хирургическом лечении внутричерепных кровоизлияний. — Вопросы клинической невропатологии в психиатрии. Таллин, 1961, 1, 84—90.

**Раудам, Э. И., Рейнет, Я. Ю.,** О применении аэрозолей и электроаэрозолей у трахеотомированных больных с диагнозом полиомиелита. — Аэроионизация и гидроионизация в медицине. Ташкент, 1962, 154—158.

**Раудам, Э. И., Рейнет, Я. Ю.,** О действии ионизированного кислорода на некоторые функции организма. — Материалы научн. конфер. по проблеме «Аэроионизация в гигиене труда», Л., 1963, 83.

**Раудам, Э. И., Рейнет, Я. Ю., Тамм, Э. И., Элгас, Ю. Ю.,** Об использовании одновременно с аппаратом искусственного дыхания универсального генератора электроаэрозолей. — Материалы научн. конфер. по проблеме «Аэроионизация в гигиене труда». Л., 1963, 140.

**Раудам, Э. И., Вельди, А. Т., Тикк, А. А., Паймре, Р. И.,** Опыт лечения жизнеопасных состояний у неврохирургических больных в респирационном центре. — Нарушение витальных функций у неврохирургических больных. М., 1963, 356—363.

**Раудам, Э. И., Тикк, А. А., Каасик, А. А., Рейнет, Я. Ю., Кросс, Э. Ю.,** Профилактика и лечение аэрозолями и электроаэрозолями легочных осложнений у неврологических больных. — Вопросы клинической неврологии и психиатрии, Тарту, 1965, 5, 37—40.

**Раудам, Э. И.,** Полиомиелит и ликвидация его в Эстонии. — Уч. зап. ТГУ, Тарту, 1966, 191, 252—302.

**Раудам, Э. И., Рейнет, Я. Ю., Тамм, Э. И.,** О действии ионизированного кислорода на некоторые функции организма. — Аэроионизация в гигиене труда. Л., 1966, 132—135.

**Раудам, Э. И., Рейнет, Я. Ю., Тамм, Э. И.,** Генераторы аэрозолей и электроаэрозолей к приборам искусственного дыхания и результаты аэрозоль- и электроаэрозольтерапии. — Материалы (тезисы) Всесоюзн. научно-техн. конфер. по применению аэрозолей в народном хозяйстве. М., 1967, 167—169.

**Раудмяэ, М.,** О действии масляных аэрозолей и масляных электроаэрозолей на активность мерцательного эпителия изолированного пищевода лягушки. — Тезисы XX научн. студенческой конфер. МГМИ. Минск, 1962, 62—63.

**Рейнет, Я. Ю., Сийрде, Э. К.,** Кислородный аэрозоль-ионизатор и некоторые наблюдения при его применении в медицине. — 1) Всесоюзн. конфер. по аэро- и гидроаэроионизации. Тезисы докладов. Ташкент, 1960, 147—148; 2) Аэроионизация и гидроаэроионизация в медицине. Ташкент, 1962, 261—264.

**Рейнет, Я. Ю., Раудам, Э. И., Тикк, А. А., Каасик, А. А., Кросс, Э. Ю.,** Профилактика и лечение аэрозолями и электроаэрозолями легочных осложнений у неврологических больных. — Материалы конфер. невропатологов и психиатров Прибалтийских республик. Тарту, 1964, 38—40.

**Рейнет, Я. Ю., Тамм, Э. И., Раудам, Э. И.,** Об использовании одновременно с аппаратом искусственного дыхания универсального генератора электроаэрозолей. — Аэроионизация в гигиене труда. Л., 1966, 235—237.

**Рийв, Я., Кольк, Х., Йентс, Э., Каяк, Р., Лоду, Э.,** Дополнение к материалам о механизмах действия электроаэрозолей. — Материалы VII Эст. респ. научн. конфер. по курортологии и физиотерапии. Пярну, 1966, 160—162.

**Рийв, Я., Кольк, Х., Йентс, Э., Каяк, Р., Лоду, Э.,** Материалы о механизмах нейроморального действия электроаэрозолей. — Материалы (тезисы) Всесоюзн. научно-техн. конфер. по применению аэрозолей в народном хозяйстве. 1967, 125—126.

**Сибуль, С.,** О влиянии отрицательной и положительной аэроионизации на течение экспериментального туберкулеза по макроскопическим изменениям. — Уч. зап. ТГУ, Тарту, 1961, 112, 203—204.

**Сибуль, С.,** О влиянии аэроионизации на регенерацию раны. — Уч. зап. ТГУ, Тарту, 1963, 134, 53.



Сибуль, С., О влиянии аэроионизации на экспериментальный туберкулез. — Уч. зап. ТГУ, Тарту, 1963, 141, 103—112.

Сибуль, С., Экспериментальные наблюдения над действием аэро- и гидро-ионизации. — Уч. зап. ТГУ, Тарту, 1963, 143, 151—155.

Сибуль, С., О влиянии микро- и макродоз отрицательной аэроионизации на регенерацию раны. — Уч. зап. ТГУ, Тарту, 1964, 163, 395—398.

Сибуль, С. Ф., Влияние микродоз аэроионизации на течение экспериментального туберкулеза. — Материалы VII респ. научно-практической конфер. фтизиатров Эст. ССР. Таллин, 1965, 63—65.

Сибуль, С. Ф., О действии аэроионов отрицательного и положительного зарядов на течение экспериментального туберкулеза на основе морфологических изменений. — Уч. зап. ТГУ, Тарту, 1965, 171, 25—34.

Сибуль, С. Ф., О спирографическом исследовании при аллергической ринопатии и озене. — Материалы докладов респ. научно-практической конфер. оториноларингологов Эст. ССР. Таллин, 1965, 38—40.

Сибуль, С., Экспериментальные наблюдения над биологическим действием электроаэрозолей у собак. — Уч. зап. ТГУ, Тарту, 1965, 178, 195—199.

Сибуль, С. Ф., О действии электроаэрозолей на внешнее дыхание. — Материалы VII Эст. респ. научн. конфер. по курортологии и физиотерапии. Пярну, 1966, 175—177.

Сибуль, С. Ф., Руссак, С. А., О применении ингаляции отрицательно ионизированных аэрозолей дистиллированной воды, насыщенной кислородом, при лечении воспалительных форм пародонтопатии. — Тезисы докладов VIII расширенного пленума Всесоюзного общества стоматологов, 4-ой Всесоюзн. сессии ЦНИИС и научн. сессии Одесского НИИС по проблеме пародонтоза. М., 1966, 147—148.

Сибуль, С. Ф., О влиянии носового дыхания и дыхания ртом на внешнее дыхание у больных аллергической ринопатией при ингаляции электроаэрозолей. — Материалы Эст. респ. конфер. по аллергологии. Тарту, 1967, 65—67.

Сибуль, С. Ф., О действии отрицательно ионизированных аэрозолей дистиллированной воды, насыщенной кислородом, на внешнее дыхание на основании спирографических исследований. — Материалы (тезисы) Всесоюзн. научно-техн. конфер. по применению аэрозолей в народном хозяйстве. М., 1967, 109—110.

Сибуль, С., Об изменениях pH, отделяемого из носа, слюны и мочи больных аллергической ринопатией в связи с ингаляцией электроаэрозолей. — Уч. зап. ТГУ, Тарту, 1967, 210, 104—109.

Сибуль, С. Ф., О функциональных изменениях слизистой оболочки носа при аллергической ринопатии в связи с лечением электроаэрозолями. — VI съезд оториноларингологов СССР. М., 1968, 189—190.

Сибуль, С. Ф., О гальванической возбудимости рецепторов слизистой оболочки носа у больных аллергической ринопатией. — Материалы III междисциплинарной конфер. оториноларингологов Латвийской, Литовской, Эстонской и Белорусской ССР Рига, 1969, 276—279.

Сиймре, А. А., О сдвигах активности холинэстеразы сыворотки крови при подкожном введении кислорода больным полиомиелитом в восстановительном периоде. — Вопросы клинической неврологии и психиатрии, Тарту, 1962, 2, 59.

Сийрде, Э., О некоторых физиологических показателях воздействия отрицательных и положительных ионов. — Научная сессия ТГУ Тезисы докладов. Тарту, 1957, 66—67.

Сийрде, Э. К., О некоторых физиологических показателях воздействия отрицательных и положительных аэроионов и гидроионов. — 1) Второе научн. совещ., посвящ. физиологическому действию и терапевтическому применению аэроионов. Тезисы докладов. Рига, 1957, 86—88; 2) Тр. ин-та экспериментальной медицины АН Латв. ССР, Рига, 1959, 20, 215—220.

Сийрде, Э. К., Йентс, А. К., Герасимова, К. В., Клинические наблюдения при лечении аэрозолями. — Научн. конфер. оториноларингологов Эстонской, Литовской и Латвийской ССР Тезисы докладов. Рига, 1957, 47—48.

**Сийрде, Э. К., Герасимова, К. В., Йентс, А. К., Сяргава, В. А.,** Клинические наблюдения при лечении озоны, атрофического ринита и бронхиальной астмы отрицательной ионизацией. — 1) Второе научн. совещ., посвящ. физиологическому действию и терапевтическому применению аэроионов. Тезисы докладов. Рига, 1957, 89; 2) Тр. ин-та экспериментальной медицины АН Латв. ССР, Рига, 1959, 20, 373—377.

**Сийрде, Э., Рейнет, Я.,** О кислородном аэрозоль-ионизаторе и некоторых физиологических показателях при применении ионизированного кислорода. — Научн. конфер. мед. факультета ТГУ Тезисы докладов. Тарту, 1959, 4—5.

**Сийрде, Э.,** Наблюдения над физиологическим действием биполярной ионизации. — Научн. конфер. мед. факультета ТГУ Тезисы докладов. Тарту, 1960, 42—43.

**Сийрде, Э. К.,** Об изменениях рН носовой слизи в связи с отрицательной гидроаэроионизацией. — 1) Всесоюзн. конфер. по аэро- и гидроаэроионизации. Тезисы докладов. Ташкент, 1960, 60—61; 2) Аэроионизация и гидроаэроионизация в медицине. Ташкент, 1962, 79—82.

**Сийрде, Э. К.,** О рН отделяемого из носа и изменениях его в связи с отрицательной ионизацией. — Вестник оториноларингологии, 1960, 6, 101.

**Сийрде, Э. К., Приоллер, П. К.,** Аэрозоль-ионизатор и сравнительные наблюдения о действии аэрозолей и электроаэрозолей на активность мерцательного эпителия пищевода лягушки. — 1) Всесоюзн. конфер. по аэро- и гидроаэроионизации. Тезисы докладов; Ташкент, 1960, 64—65; 2) Аэроионизация и гидроаэроионизация в медицине. 1962, 86—88.

**Сийрде, Э.,** Об изменениях тонуса кровеносных сосудов слизистой оболочки носа под действием отрицательной ионизации. — Уч. зап. ТГУ. Тарту, 1961, 112, 3—7.

**Сийрде, Э. К.,** Об аллергической ринопатии по данным функциональной диагностики в связи с отрицательной ионизацией. — Вторая научн. конфер. оториноларингологов Латвийской, Эстонской, Литовской и Белорусской ССР. Материалы докладов. Рига, 1962, 91—92.

**Сийрде, Э. К.,** Об аллергических явлениях верхних дыхательных путей. — Из теории и практики медицины. Сб. научн. трудов. Тарту, 1962, 38—41.

**Сийрде, Э. К.,** Об изменениях рН носовых выделений при лечении отрицательной гидроаэроионизацией. — Аэроионизация и гидроаэроионизация в медицине. Ташкент, 1962, 79—82.

**Сийрде, Э.,** О влиянии биполярной ионизации на количество оксигемоглобина в крови. — Уч. зап. ТГУ. Тарту, 1963, 134, 51—52.

**Сийрде, Э. К.,** О применении положительной ионизации с лечебными целями. — Уч. зап. ТГУ, Тарту, 1963, 143, 146—150.

**Сийрде, Э. К., Приоллер, П. К.,** О применении аэрозолей и электроаэрозолей в оториноларингологии. — Вестник оториноларингологии, 1963, 2, 3—10.

**Сийрде, Э. К.,** О действии микродоз электроаэрозолей. — Уч. зап. ТГУ Тарту, 1964, 163, 391—394.

**Сийрде, Э. К.,** Изменения артериального кровяного давления под влиянием ионизации. — Уч. зап. ТГУ, Тарту, 1965, 179, 256—261.

**Сийрде, Э. К.,** Действие аэроионов и электроаэрозолей и применение их с лечебной целью. — Материалы VII Эст. респ. научн. конфер. по курортологии и физиотерапии. Пярну, 1966, 177—180.

**Сийрде, Э. К.,** О физиологическом действии положительной и биполярной ионизации. — 1) Материалы научн. конфер. по проблеме «Аэроионизация в гигиене труда». Л., 1963, 26—27; 2) Аэроионизация в гигиене труда. Л., 1966, 29—30.

**Сийрде, Э. К.,** О некоторых физиологических показателях аэрозолей и электроаэрозолей. — Материалы (тезисы) Всесоюзн. научно-техн. конфер. по применению аэрозолей в народном хозяйстве. М., 1967, 130—131.

**Сийрде, Э. К.,** О содержании оксигемоглобина в крови при чередующемся применении отрицательных и положительных электроаэрозолей. — Уч. зап. ТГУ. Тарту, 1967, 208, 113—115.

**Сийрде, Э. К., Леэзик, Э. П.,** О некоторых изменениях иммунобиологически-биохимических показателей крови и температуры небных миндалин у больных хроническим тонзиллитом. — Материалы Эст. респ. конфер. по аллергологии. Тарту, 1967, 35—36.

**Сийрде, Э. К.,** О функциональных изменениях под действием электроаэрозолей при аллергических явлениях в верхних дыхательных путях. — VI съезд оториноларингологов СССР. Материалы съезда. М., 1968, 35.

**Сяргав, В.,** Об изменениях температуры слизистой оболочки верхних дыхательных путей в связи с лечением ионизацией и аэрозолями. — Научн. конфер. мед. факультета ТГУ. Тезисы докладов. Тарту, 1959, 8—9.

**Сяргав, В. А.,** О температуре слизистых оболочек верхних дыхательных путей и изменениях ее в связи с аэрозоль-, электроаэрозоль- и аэроионотерапией. — 1) Всесоюзн. конфер. по аэро- и гидроаэроионизации. Тезисы докладов. Ташкент, 1960, 62—63; 2) Аэроионизация и гидроаэроионизация в медицине. Ташкент, 1962, 83—85.

**Сяргав, В.,** О рН ушного гноя при хроническом отите и об изменениях его под действием электроаэрозолей. — Уч. зап. ТГУ. Тарту, 1963, 143, 157—162.

**Таммера, К.,** Результаты применения ионизированного кислорода внутриперитонеально при экспериментальных острых coli-перитонитах. — 1) Второе научн. совещ., посвящ. физиологическому действию и терапевтическому применению аэроионов. Тезисы докладов. Рига, 1957, 95—96; 2) Тр. Ин-та экспериментальной медицины АН Латв. ССР, Рига, 1959, 20, 241—247.

**Таммера, К.,** О влиянии аэроионизации на регенеративные процессы костей в эксперименте. — 1) Материалы научн. конфер. по проблеме «Аэроионизация в гигиене труда». Л., 1963, 85—86; 2) Аэроионизация в гигиене труда. Л., 1966, 131—132.

### Применение в промышленности

**Виснапу, Л. Ю., Рейнет, Я. Ю.,** Экспериментальная установка для электроокраски мелких изделий. — Уч. зап. ТГУ. Тарту, 1963, 140, 120—131.

**Виснапу, Л. Ю., Рейнет, Я. Ю.,** Изучение возможности использования пневматических распылителей для электрической зарядки распыляемых жидкостей. — Окраска изделий в электрическом поле. М., 1966, 71—79.

**Виснапу, Л. Ю., Рейнет, Я. Ю.,** Комбинированный нейтрализатор. — Полиграфия, М., 1966, 5, 27—28.

**Пярник, Т. Р., Рейнет, Я. Ю.,** Нейтрализатор статических зарядов. — Уч. зап. ТГУ. Тарту, 1963, 140, 132—138.

**Рейнет, Я. Ю., Корнель, В. В., Вахеметса, М. Л.,** Ионизационные детекторы к газовому хроматографу. — 1) Тезисы докладов 2-й Всесоюзн. конфер. по газовой хроматографии. М., 1962, 66; 2) Уч. зап. ТГУ. Тарту, 1963, 140, 113—119.

**Рейнет, Я. Ю., Элгас, Ю. Ю.,** О снятии статических зарядов в типографиях и текстильных предприятиях. — Материалы научн. конфер. по проблеме «Аэроионизация в гигиене труда». Л., 1963, 91—92.

**Рейнет, Я. Ю., Корнель, В. В., Пускар, Ю. Х., Вахеметса, М. Л.,** Ионизационные детекторы к газовому хроматографу. — Газовая хроматография. Тр. II Всесоюзн. конфер. М., 1964, 426—481.

**Рейнет, Я. Ю., Виснапу, Л. Ю.,** О работах Тартуского гос. университета в области электроокраски. — Тезисы докладов научн.-техн. совещ. по окраске изделий в электростатическом поле. М., 1964, 12—13.

**Рейнет, Я. Ю.,** Новые распылители для окраски изделий в электростатическом поле. — Специальная электроника. Серия X, 1966. Технология и организация производства. Выпуск I, УДК 621, 359, 7.

**Рейнет, Я. Ю.,** О снятии статических зарядов в типографиях и текстильных предприятиях. — Аэроионизация в гигиене труда. Л., 1966, 153—155.

## Применение в сельском хозяйстве

**Виснапуу, Л. Ю., Рейнет, Я. Ю.,** О применении аэрозолей и электроаэрозолей. — Ветеринария, 1966, 3, 98—99.

**Рейнет, Я. Ю.,** Электроаэрозольные генераторы для лечения легочных болезней сельскохозяйственных животных. — Тезисы сообщ. на секциях II координационного совещ. по применению радиоэлектроники в сельском хозяйстве. Таллин, 1963, 160—161.

**Рейнет, Я. Ю., Виснапуу, Л. Ю.,** Электроаэрозольные генераторы для лечения сельскохозяйственных животных. — Материалы к объединенному совещанию Научно-техн. совета МСХ СССР и Отделения животноводства ВАСХНИЛ на тему «Применение аэроионизации в животноводстве и ветеринарии». М., 1964, 42.

**Рейнет, Я. Ю., Виснапуу, Л. Ю.,** Генератор электроаэрозолей для дезинфекционных работ. — Материалы (тезисы) Всесоюз. научно-техн. конфер. по применению аэрозолей в народном хозяйстве. М., 1967, 201—202.

**Рейнет, Я. Ю., Тамм, Э. И., Виснапуу, Л. Ю.,** Генератор электроаэрозолей для лечения и профилактики легочных заболеваний животных. — Материалы (тезисы) Всесоюз. научно-техн. конфер. по применению аэрозолей в народном хозяйстве. М., 1967, 259—260.

**Ритслайд, В.,** О влиянии аэроионизации на прорастание семян и рост растений. — Изв. АН ЭССР, серия биологическая. Тарту, 1960, 2, 167—176.

**Ритслайд, В.,** Об исследовании влияния аэроионизации на прорастание семян и рост растений. — Уч. зап. ТГУ, Тарту, 1961, 112, 142—146.

## Авторские свидетельства

1. **Приллер, П. К., Рейнет, Я. Ю., Кийс, В. Ю.,** Аппарат для аэроионизации. — Авт. св. № 107932 (заявка от 1 марта 1956 г.). Бюлл., 1957, № 8.
2. **Рейнет, Я. Ю.,** Гидроионизатор для получения гидро- и аэроионов, например для лечебных целей. — Авт. св. № 108852 (заявка от 22 октября 1956 г.). Бюлл., 1957, № 9.
3. **Таммет, Х. Ф.,** Коронный аэроионизатор. — Авт. св. № 115904 (заявка от 15 апреля 1958 г.). Бюлл., 1958, № 11.
4. **Рейнет, Я. Ю.,** Счетчик аэро- и гидроионов. — Авт. св. № 120272 (заявка от 5 октября 1957 г.). Бюлл., 1959, № 11.
5. **Таммет, Х. Ф.,** Портативный коронный ионизатор. — Авт. св. № 122642 (заявка от 1 декабря 1958 г.). Бюлл., 1959, № 18.
6. **Рейнет, Я. Ю., Таммет, Х. Ф.,** Аэрозоль-ионизатор. — Авт. св. № 123636 (заявка от 24 ноября 1958 г.). Бюлл., 1959, № 21.
7. **Рейнет, Я. Ю., Сузи, А. К., Тамм, Э. И.,** Генератор аэрозолей для аппаратов искусственного дыхания интратрахеальным методом. — Авт. св. № 131456 (заявка от 7 января 1960 г.). Бюлл., 1960, № 17.
8. **Рейнет, Я. Ю., Сальм, Я. И.,** Спектрометр атмосферных ионов. — Авт. св. № 147822 (заявка от 7 августа 1961 г.). Бюлл., 1962, № 11.
9. **Таммет, Х. Ф.,** Счетчик аэроионов. — Авт. св. № 151071 (заявка от 13 октября 1961 г.). Бюлл., 1962, № 20.
10. **Таммет, Х. Ф.,** Ионизационный детектор газового хроматографа. — Авт. св. № 151100 (заявка от 13 октября 1961 г.). Бюлл., 1964, № 8.
11. **Сакс, О. В., Лоог, П. К., Пиквер, Р. И., Резбен, В. А.,** Тераомметр со стабилизированным источником питания. — Авт. св. № 162283 (заявка от 16 апреля 1964 г.). Бюлл., 1964, № 9.
12. **Рейнет, Я. Ю.,** Нейтрализатор. — Авт. св. № 165848 (заявка от 10 ноября 1963 г.). Бюлл., 1964, № 20.
13. **Виснапуу, Л. Ю.,** Устройство для получения тумана, например в медицинской практике. — Авт. св. № 182298 (заявка от 16 апреля 1965 г.). Бюлл., 1966, № 11.

14. Рейнет, Я. Ю., Тамм, Э. И., Сузи, А. К., Генератор аэрозолей для аппаратов искусственного дыхания интратрахеальным методом. — Авт. св. № 192365 (заявка от 27 января 1964 г.). Бюлл., 1967, № 5.
15. Рейнет, Я. Ю., Виснапуу, Л. Ю., Распылитель для электроаэрозольной терапии. — Авт. св. № 193690 (заявка от 9 июня 1965 г.). Бюлл., 1967, № 7.
16. Виснапуу, Л. Ю., Сальм, Я. И., Устройство для получения тумана. — Авт. св. № 202479 (заявка от 5 сентября 1966 г.). Бюлл., 1967, № 19.
17. Виснапуу, Л. Ю., Рейнет, Я. Ю., Устройство для зарядки аэрозолей. — Авт. св. № 202647 (заявка от 19 мая 1966 г.). Бюлл., 1967, № 19.
18. Рейнет, Я. Ю., Виснапуу, Л. Ю., Установка для окраски изделий в электростатическом поле. — Авт. св. № 204196 (заявка от 22 января 1965 г.). Бюлл., 1967, № 21.
19. Виснапуу, Л. Ю., Рейнет, Я. Ю., Распылитель для электроаэрозольной терапии. — Авт. св. № 211035 (заявка от 13 февраля 1967 г.). Бюлл., 1968, № 7.
20. Рейнет, Я. Ю., Сальм, Я. И., Счетчик атмосферных ионов и электроаэрозолей. — Авт. св. № 212374 (заявка от 22 декабря 1966 г.). Бюлл., 1968, № 9.
21. Ирд, В. Я., Веске, У. В., Вязртнуу, Э. В., Каск, А. К., Рабинович, Н. К., Розенталь, Н. К., Сакс, О. В., Султсон, Р. И., Малогабаритный портативный вибропреобразователь. — Авт. св. № 198439 (заявка от 16 мая 1966 г.). Бюлл., 1967, № 14.
22. Рейнет, Я. Ю., Виснапуу, Л. Ю., Способ нанесения покрытий. — Авт. св. № 240505 (заявка от 13 февраля 1965 г.).

#### Ионизация атмосферы, биометеорология, электроаэрозоли. Газовый разряд

1. Kudu, K. F., Berdyshev, A. V., Prokofjev, A. M., About development of high-frequency bursts. Eighth International Conference of Phenomena in Ionized Gases. Contributed papers, Vienna, 1967, p. 217.
2. Prüller, P., Reinet, J., Long-term investigations of atmospheric ionization in Tartu, Estonian SSR. Int. J. Biometeor., 1966, vol. 10, № 2, pp. 127—133.
3. Reinet, J., Tammet, H., Salm, J., On the methods of counting air ions. Reprint Proceedings 3-rd International Biometeorological Congress, Oxford, 1966, pp. 1037—1046.
4. Tammet, H. Air Ions and Aerosols. Bioclimatology, Biometeorology and Aeroionotherapy. Edited by R. Gualterotti, I. H. Kornblueh, C. Sirtori. Carlo Erba Foundation, Milan, 1968, pp. 49—53.
5. Tammet, H., Visnapuu, L., Reinet, J. Generators of Air Ions and Electroaerosols. Bioclimatology, Biometeorology and Aeroionotherapy. Edited by R. Gualterotti, I. H. Kornblueh, C. Sirtori. Carlo Erba Foundation, Milan, 1968, pp. 54—56.
6. Tammet, H., Salm, J., Tamm, E. Measurement of Air Ions and Aerosols. Bioclimatology, Biometeorology and Aeroionotherapy. Edited by R. Gualterotti, I. H. Kornblueh, C. Sirtori. Carlo Erba Foundation, Milan, 1968, pp. 57—62.
- Summaries Tammet, H., Visnapuu, L., Reinet, J., Salm, J., Tamm, E. The Physics of Air Ions and Electroaerosols. Bioclimatology, Biometeorology and Aeroionotherapy. Edited by R. Gualterotti, I. H. Kornblueh, C. Sirtori. Carlo Erba Foundation, Milan, 1968, pp. 137—138.
- Résumés Tammet, H., Visnapuu, L., Reinet, J., Salm, J., Tamm, E. Physique des Ions de l'Air et des Aérosols. Bioclimatology, Biometeorology and Aeroionotherapy. Edited by R. Gualterotti, I. H. Kornblueh, C. Sirtori. Carlo Erba Foundation, Milan, 1968, pp. 145—146.
- Bibliography Tammet, H., Visnapuu, L., Reinet, J., Salm, J., Tamm, E. The Physics of Air Ions and Electroaerosols. Bioclimatology, Biometeorology and Aeroionotherapy. Edited by R. Gualterotti, I. H. Kornblueh, C. Sirtori. Carlo Erba Foundation, Milan, 1968, pp. 155—158.

1. Raudam, E., Reinet, J., The prevention and treatment with aerosols and electroaerosols of pulmonary complications in neurosurgery. *Excerpta Medica, International Congress Series*, 93. Third International Congress of Neurological Surgery, Copenhagen, Aug. 23—27, 1965, p. 233.

2. Raudam, E., Reinet, J., The prevention and treatment with aerosols and electroaerosols of pulmonary complications in neurosurgical patients. *Proceedings of the 3-rd International Congress of Neurological Surgery. Excerpta Medica. International Congress Series*, 110, Amsterdam, 1966, pp. 855—857.

3. Raudam, E., Reinet, J., Physiological and clinical observations on the effect of ionized oxygen on poliomyelitis patients. *Publications of the 3-rd Biometeorological Congress*, Oxford, 1966, p. 93.

4. Reinet, J., Siirde, E., Aerosol ionizer and its application in medicine. *Reprint Proceedings 3-rd International Biometeorological Congress*, Oxford, 1966, pp. 1031—1036.

5. Siirde, E., Ueber die Wirkung der negativen Elektro-Aerosole bei Allergie, Entzündung der Nasenschleimhaut und Ozäna. VII Internationaler Kongress der Hals-Nasen-Ohrenheilkunde. *Zusammenfassungen der Berichte, Mitteilungen und Filme*, Paris 23—29 Juli, 1961, 322.

Поступила 31/XII 1968 г.

## LÜHIÜLEVAADE ATMOSFÄÄRI-IONISATSIOONI- JA ELEKTROAEROSOOOLIDE-ALASTEST TÖÖDEST TARTUS

J. Reinet

Resümee

Antakse ülevaade Tartus (Eestis) teostatud atmosfääri-ionisatsiooni uurimisest, mis on mitme aasta jooksul tehtud originaalsete atmosfääri-ioonide loendurite-spektromeetritega, kusjuures on uuritud aeroioonide (kergete, keskmiste ja raskete ionide) kontsentratsioonide muutusi ööpäeva, aasta ja aastate jooksul.

On uuritud atmosfääri-ionisatsiooni meteoroloogiliste elementide ja ilmatüüpide vahelisi seoseid.

On kindlaks tehtud, et soojal aastaajal leidub atmosfääris palju vahepealseid ioone liikuvusega  $1,0 > k \geq 0,1$  cm<sup>2</sup>/s. V, ja et kergete ionide  $k \geq 0,1$  cm<sup>2</sup>/s. V liikuvus muutub kiiresti sõltuvalt atmosfääri-ionisatsiooni muutustest.

Loendurite ja spektromeetrite alal töötava autorite kollektiivi (J. Reinet, J. Salm ja H. Tammet) poolt on konstrueeritud ja välja töötatud väga mitmesuguseid aeroioonide loendureid, mis töötavad nii laengukasvu kui ka laengukao meetodil, millest uuemad on varustatud osutmõõteriistaga ja TRÜ-s O. Saksa väljatöötatud tundlike dünaamiliste elektromeetritega, mis võimaldavad atmosfääri-ioonide kontsentratsiooni ka pidevalt registreerida.

On antud teoreetilisi aluseid atmosfääri-ioonide ja elektroaerosoolide loendurite ja spektromeetrite konstrueerimiseks ja esitatud uusi meetodeid atmosfääri-ionisatsiooni uurimiseks (H. Tammet).

Aspiratsioonimeetod aeroioonide spektri mõõtmiseks. TRÜ Toimetised. 195, Tartu, 1967.).

Et uurida aeroioonide ja elektroaerosoolide toimet elavatele organismidele, on välja töötatud väga mitmesuguseid aeroionisaatoreid ja elektroaerosoolide generaatoreid, mis võimaldavad tugevasti ioniseerida õhku, meditsiinilist hapnikku, aerosooliosakesi, mis saadakse vedelike (medikamentide vesilahuste jne.) pihustamisel.

On antud ülevaade aerosool- ja elektroaerosoolgeneraatorite konstrueerimisest kunstliku hingamise aparaatide juurde, mida kasutas juba alates 1958. a. E. Raudam Eesti Vabariiklikus Elustamiskeskuses Tartus ja mille rakendamise tulemusena on tunduvalt vähenenud haigestumine kopsupõletikku ja kopsu kokkulangemine ning mitmekordselt langenud kopsuhaigustesse surevus.

Meditsiinis on hakanud laialdaselt kasutama elektroaerosooli E. Siirde, A. Jents jt., kusjuures ilmnesid negatiivselt laetud aerosoolide kasutamise eelised võrreldes tavaliste aerosoolidega.

On välja töötatud aerosool- ja elektroaerosoolgeneraatorid koduloomade kopsuhaiguste raviks ja profülaktikaks.

Elektroaerosooli kasutatakse desinfitseerimiseks ja on välja töötatud elektroaerosoolide tekitamine ultraheli abil induktsiooni-meetodil.

On esitatud aparatuur ja meetodika elektrit juhtivate värvidega värvimiseks elektriväljas. Samuti on välja töötatud meetodika ja aparatuur dielektrikute (plastmasside) värvimiseks elektriväljas.

Uusi efektiivseid staatilise elektri neutralisaatoreid on kasutusele võetud tööstustes, kus seni tuntud neutralisaatoreid ei saadud edukalt rakendada.

On uuritud ionisatsioonidetektorite kasutamise võimalusi gaaskromatograafias ja välja töötatud uut tüüpi ionisatsioonidetektor gaaskromatograafidele.

## **OUTLINE OF STUDIES ON IONIZATION AND ELECTROAEROSOLS CARRIED OUT IN TARTU**

**J. Reinet**

### **S u m m a r y**

The article gives an outline of the studies on atmospheric ionization carried out in Tartu (Estonian SSR). These studies have been conducted with original air ion counters and spectrometers and are concerned with changes in the concentrations of atmospheric ions (small, medium, and large ions) during a day or a year as well as over a period of many years.

Relations between atmospheric ionization, meteorological elements and weather-types have been investigated. It has been established that in a warm season the atmosphere contains a great number of intermediate ions with a mobility of  $1.0 > k \geq 0.1$  cm<sup>2</sup>/secV and that the mobility of small ions  $k \geq 0.1$  cm<sup>2</sup>/secV changes rapidly depending on changes in atmospheric ionization.

Various types of air ion counters have been designed and constructed by a team of researchers (J. Reinet, J. Salm, H. Tammet) working in the field of counters and spectrometers operating by both the increase-of-charge and the loss-of-charge method, the latest of them being provided with needle instruments and with sensitive dynamical electrometers (developed by O. Saks) which make it possible to continually record the concentration of atmospheric ions.

New theoretical foundations have been developed for the design of air ion and electroaerosol counters and spectrometers; new methods for the study of atmospheric ionization have been proposed (H. Tammet, Aspiration Method for Measuring the Spectrum of Air Ions, in: Transactions of Tartu State University, No. 195, Tartu, 1967)

To study the effect of air ions and electroaerosols on living organisms, various kinds of air ionizers and generators of electroaerosols have been worked out. These make it possible to strongly ionize air and to produce medical oxygen — aerosol particles which are obtained by spraying aqueous solutions, etc., of medicaments.

A survey of the design of aerosol and electroaerosol generators to artificial respirators is given. These have been applied since 1958 by E. Raudam at the Republican Centre for Artificial Respiration in Tartu. As a result of their application, the incidence of pulmonary complications (pneumonia and collapse of the lung) has considerably decreased and the mortality of pulmonary diseases has diminished manifold.

Doctors (E. Siirde, A. Jents, etc.) have begun to apply medical electroaerosols more widely. Practice has shown a considerable advantage of negatively charged aerosols over ordinary ones.

Aerosol and electroaerosol generators have been constructed for the treatment and prevention of the pulmonary diseases of domestic and farm animals.

Electroaerosols have come to be used for the purpose of disinfection.

Methods have been developed for the production of electroaerosols by means of ultrasound by the induction method.

Apparatus and methods have been worked out to use electrically conductive paints for painting in the electric field.



Likewise, equipment and methods have been elaborated for the use of dielectrics (plastics) for painting in the electric field.

New efficient neutralizers of static electricity have been devised and have been introduced in industrial enterprises where other neutralizers cannot be successfully used.

Possibilities of applying ionization detectors to gas chromatography have been studied and a new type of ionized gas detectors has been developed for those working in the field of gas chromatography.

# СЧЕТЧИК АТМОСФЕРНЫХ ИОНОВ С АВТОМАТИЧЕСКИМ ФОТОРЕГИСТРАТОРОМ И ДИНАМИЧЕСКИМ ЭЛЕКТРОМЕТРОМ

П. К. Прюллер, О. В. Сакс

Автоматизация работы аспирационного счетчика ионов и применение регистрирующих приборов значительно расширили возможность проведения систематических исследований атмосферной ионизации.

Ниже рассматривается аппаратура, примененная в 1960—1963 гг. для измерения ионизации атмосферы г. Тарту комбинированным счетчиком [Рейнет, 1955, 1956], установленным в центре г. Тарту в главном здании Тартуского гос. университета. При этих измерениях комбинированный счетчик ионов был перестроен авторами данной работы и приспособлен к измерению ионизации атмосферы с автоматическим фоторегистратором или с динамическим электрометром и регистрирующим прибором.

Комбинированный счетчик ионов представляет собой аспирационный счетчик, работающий по методу заряжения [Имянитов, 1957], т. е. по методу заземляемой внутренней обкладки [Гаммет, 1967]. Этим счетчиком можно измерять концентрации ионов, начиная с легких ионов и кончая ультратяжелыми ионами (предельная подвижность от  $k_0 = 2,5$  до  $0,00025$  см<sup>2</sup>/сек·в), используя один электрометр и два измерительных цилиндрических конденсатора: конденсатор легких ионов и конденсатор тяжелых ионов. Соответственно предельной подвижности изменяют напряжение внешнего электрода конденсатора  $U$  или расход воздуха  $\Phi$ .

## 1. Комбинированный счетчик ионов

Основными узлами комбинированного счетчика ионов являются вертикальный конденсатор легких ионов 3, горизонтальный конденсатор тяжелых ионов 1 и электрометр в камере 7 (рис. 1).

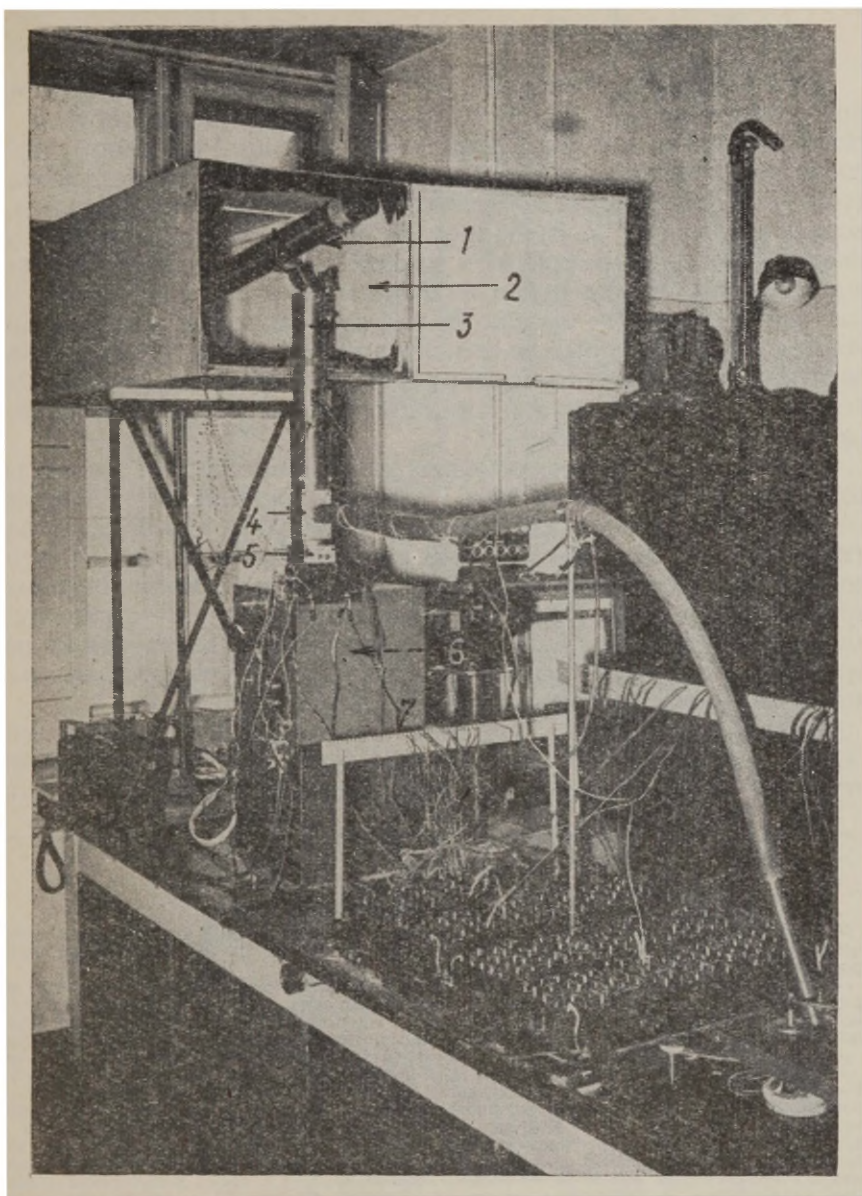


Рис. 1. Комбинированный счетчик ионов. 1 — конденсатор тяжелых ионов; 2 — воздушный канал; 3 — конденсатор легких ионов; 4 и 5 — камеры, соединяющие конденсатор легких ионов с камерой электрометра; 6 — место электрометра в камере; 7 — камера электрометра.

## 1.1. Конденсатор счетчика легких ионов

Конденсатор легких ионов 3 соединен с экранирующей камерой электрометра 7 двумя соединительными камерами 4 и 5. Боковая стенка камеры 4 снабжена штуцером, к которому присоединена резиновая трубка, соединяющая счетчик с ротаметром (рис 1). Верхняя часть конденсатора легких ионов 3 находится в воздушном канале 2, сделанном из фанеры, с поперечным сечением  $0,47 \text{ м} \times 0,57 \text{ м} = 0,27 \text{ м}^2$  и длиной 1,75 м. Входное отверстие конденсатора легких ионов находится на расстоянии 1,63 м от постоянно открытого окошка. В том же воздушном канале помещается горизонтальный конденсатор тяжелых ионов, входное отверстие которого находится на расстоянии 15 см от окошка. Ось этого конденсатора находится над землей на расстоянии 3,3 м и над уровнем моря — 41,5 м.

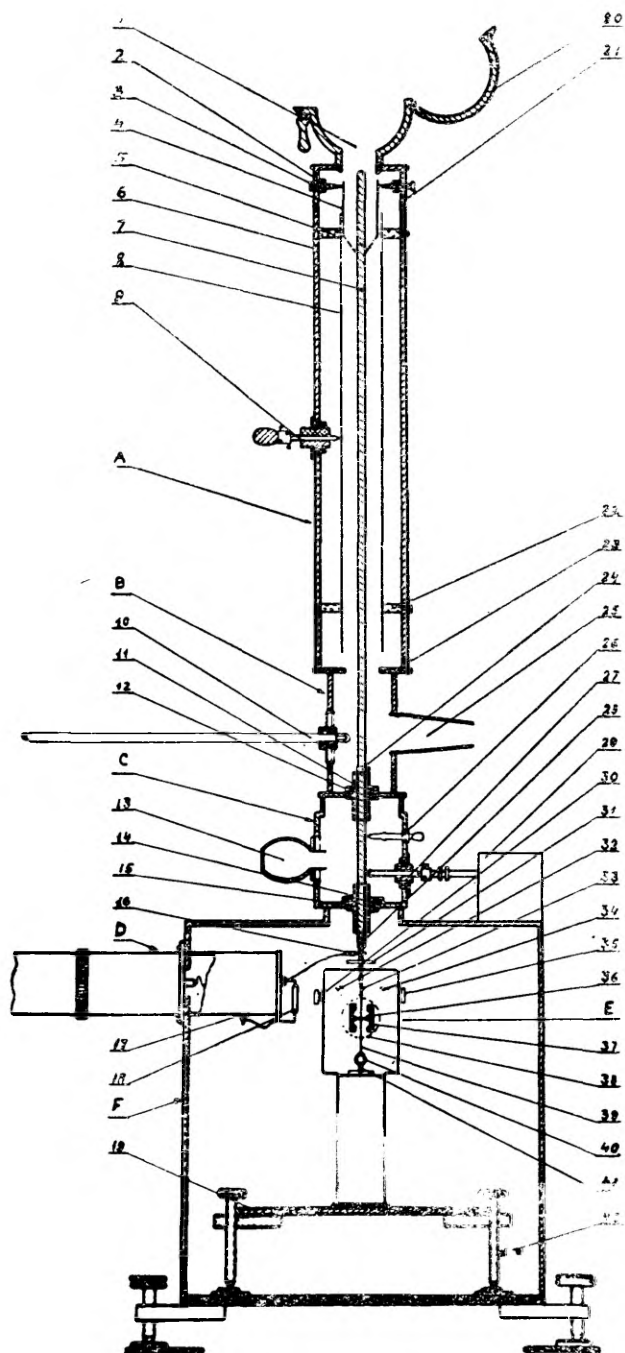
Схема счетчика легких ионов после перестройки конденсатора дана на рис. 2. При перестройке внешний электрод 8 [длина  $l = (37,22 \pm 0,01)$  см, радиус  $R = (1,708 \pm 0,003)$  см] остался без изменений, но поддерживающие его изоляторы были заменены кольцеобразными изоляторами 5 и 22, удаленными от торцевых краев электрода 8. Этим практически полностью устранилось влияние переходных процессов поляризации в изоляторах на результаты измерения. Благодаря этому заметно укоротилось минимально необходимое время измерения.

Внутренний электрод 7 [радиус  $r = (0,296 \pm 0,001)$  см] конденсатора изолирован от заземленного корпуса двумя янтарными втулками 11 и 14, укрепленными в эбонитовых кольцах 12 и 15.

Рис. 2. Схема счетчика легких ионов.

А — цилиндрический конденсатор; В и С — камеры, соединяющие конденсатор с камерой электрометра; F — металлическая камера электрометра; D — динамический электрометр; E — электрометр СГ-1М.

1 — отверстие для впуска воздуха; 2 — кольцо из органического стекла; 3 — один из трех конических изоляторов, предохраняющих замыкание электростатического защитного цилиндра Сванна со внешним электродом конденсатора легких ионов; 4 — цилиндр Сванна; 5, 22 — кольца из органического стекла, поддерживающие внешний электрод; 6 — заземленный корпус счетчика; 7 — внутренний электрод; 8 — внешний электрод; 9 — пружинный изолированный контакт для подачи напряжения на внешний электрод; 10 — термометр; 11, 14 — янтарные втулки — держатели внутреннего электрода; 12, 15 — эбонитовые кольца, окружающие янтарные втулки 11 и 14; 13 — осушитель изоляторов внутреннего электрода; 16 — контакт для соединения динамического электрометра с внутренним электродом; 17 — клемма заземления; 18 — высокоомное сопротивление динамического электрометра; 19 — треножник электрометра СГ-1М; 20 — скоба-держатель конденсатора тяжелых ионов; 21 — цилиндрическая крышка с тремя коническими янтарными изоляторами, — держатели защитного цилиндра Сванна; 23 — резьба для соединения корпуса счетчика легких ионов с камерой В; 24 — металлическое кольцо — держатель внутреннего электрода; 25 — штуцер; 26 — клемма заземления внутреннего электрода; 27 — контакт заземления внутреннего электрода или подачи контрольного напряжения на внутренний электрод через фоторегистратор; 28 — контакт для соединения электрометра СГ-1М с внутренним электродом; 29 — реле автоматического фоторегистратора; 30, 35 — барабаны полей электрометра; 31 — диск для защиты электрометра от пыли; 32, 34 — контакты для подачи напряжения на ножи электрометра; 33 — контакт для заземления электрометра; 36 — индекс электрометра; 37 — ножи электрометра; 38 — контур микроскопа; 39 — подвешенная кварцевая нить; 40 — кварцевые дужки; 41 — стержень для крепления кварцевой системы электрометра; 42 — клемма для заземления корпуса электрометра.



Внутренний электрод 7 соединен с электрометром Е. Для защиты от краевого эффекта внутренний электрод снабжен электростатическим защитным цилиндром Сванна 4 [Swann, 1914]. Последний опирается на три янтарных конуса 3, которые при помощи кольца 2 из органического стекла прикреплены к стенке отворачивающейся цилиндрической крышки 21. Янтарные конусы позволяют точно отцентрировать цилиндр 4.

К боковой стенке камеры В против штуцера 25 для подвода воздуха к ротаметру прикреплен термометр 10, показывающий температуру для определения числа Рейнольдса просасываемого воздуха. Через боковую грань нижней камеры С проходит контакт 26 для ручного заземления внутреннего электрода и контакт 27 для заземления или для подачи контрольного напряжения на внутренний электрод через автоматический фоторегистратор.

Электрометр Е [СГ-1М] опирается на треножник в камере F, куда провода подводятся через эбонитовый диск в задней стенке камеры. При измерении электрометром Е контакт 16 динамического электрометра отключен.

Для предотвращения образования завихрений поток воздуха направляется в цилиндр Сванна через трубку, имеющую обтекаемую форму. Определение числа Рейнольдса для воздушного потока, проходящего через самое узкое место входного отверстия — цилиндр Сванна [ $R_1 = (1,254 \pm 0,003)$  см,  $r = (0,296 \pm \pm 0,001)$  см] — показывает, что при измерении легких ионов с расходом воздуха  $\Phi = (667 \pm 6)$  см<sup>3</sup>/сек ламинарность потока в достаточной мере обеспечена [Рейнет, 1955, 1956].

Исследования [Reinet, 1958, диссертация стр. 45 и 64] показали, что в случае определенной предельной подвижности ( $k_0 = 0,1$  см<sup>2</sup>/сек · в) значения концентрации ионов, полученные при максимальном расходе воздуха ( $\Phi = 667$  см<sup>3</sup>/сек) и в 2 и 4 раза меньших расходах, не отличались друг от друга в пределах погрешностей измерения.

## 1.2. Конденсатор счетчика тяжелых ионов

К конденсатору легких ионов с помощью хомута 20 присоединяется горизонтально расположенный цилиндрический конденсатор тяжелых ионов (рис. 3), опирающийся на металлическую подставку. Внешний электрод конденсатора тяжелых ионов [длина  $l = (113,0 \pm 0,1)$  см, радиус  $R = (1,700 \pm 0,005)$  см] поддерживается двумя кольцами 12 и 14 из органического стекла, прикрепленными винтами к корпусу 26. Для предотвращения влияния поляризации изоляторов на результаты измерения кольца 12 и 14 удалены от торцевых краев электрода 10. Внутренний электрод 11 [радиус  $r = (1,270 \pm 0,005)$  см] опирается своими концами на изоляторы: янтарный изолятор 23 вставлен в эбонито-

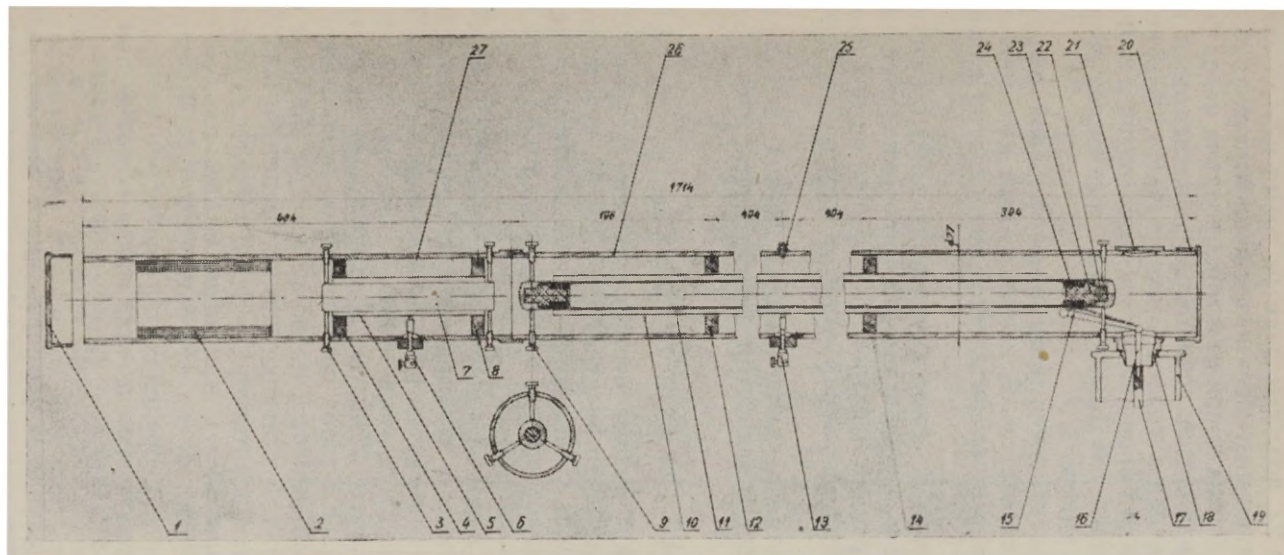


Рис. 3. Схема конденсатора счетчика тяжелых ионов.

1 — защитный клапан; 2 — нагревательный элемент для сушки изоляторов; 3 — винты для центрирования, одновременно заземляющие внутренний электрод добавочного конденсатора; 4 — изолятор; 5 — внешний электрод добавочного конденсатора; 6 — изолированная клемма для подачи напряжения на внешний электрод добавочного конденсатора; 7 — внутренний электрод добавочного конденсатора; 8 — изолятор; 9 — винты для центрирования внутреннего электрода конденсатора тяжелых ионов; 10 — внешний электрод; 11 — внутренний электрод; 12, 14 — изоляторы из органического стекла, держатели внешнего электрода; 13 — клемма для подачи напряжения на внешний электрод; 15 — рычажок, соединяющий электрометр с внутренним электродом; 16 — соединительное звено рычажка; 17 — внутренний электрод конденсатора легких ионов; 18 — стенка обтекаемой формы, окружающая входное отверстие счетчика легких ионов; 19 — цилиндрическая крышка счетчика легких ионов; 20 — крышка, закрывающая отверстие конденсатора тяжелых ионов; 21 — скоба для соединения конденсаторов тяжелых ионов с конденсатором легких ионов; 22 — металлический экранирующий цилиндр изолятора внутреннего электрода; 23 — янтарный изолятор внутреннего электрода; 24 — эбонитовый изолятор внутреннего электрода; 25 — клемма заземления корпуса; 26 — заземленный корпус счетчика; 27 — заземленный корпус добавочного конденсатора.

вый цилиндр 24. Внешний конец изолятора 23 окружен металлическим наконечником 22, поддерживаемым тремя центрирующими винтами 9, проходящими сквозь заземленный корпус 26.

Для улавливания легких ионов из потока воздуха перед большим конденсатором находится добавочный конденсатор в корпусе 27, внешний электрод которого 5 [длина  $l = (14,7 \pm 0,1)$  см и радиус  $R = (1,700 \pm 0,005)$  см] опирается на изоляторы 4 и 8. Внутренний электрод 7 [радиус  $r = (1,270 \pm 0,005)$  см] заземлен посредством центрирующих винтов 3.

Перед добавочным конденсатором в фарфоровой оболочке помещается электронагреватель 2, используемый для пропускания теплого воздуха через измерительный конденсатор для просушки изоляторов.

При измерении тяжелых ионов внутренний электрод конденсатора тяжелых ионов с помощью рычага 15 соединяется с электрометром через внутренний электрод 17 счетчика легких ионов. Внешний электрод счетчика легких ионов в этом случае заземляется.

Напряжение подается на конденсаторы легких и тяжелых ионов и на добавочный конденсатор автоматическим фоторегистратором.

### 1.3. Электрометр

При использовании автоматического фоторегистратора в счетчике ионов был применен электрометр СГ-1 М, чувствительность которого постоянно равнялась 60 дел/вольт. При подаче на внутреннюю систему электрометра напряжения до 0,5 вольта показания электрометра линейны (рис. 4).

При исследовании влияния поляризации изоляторов счетчика регистрировались показания электрометра в течение одного цикла при соответствующем рабочем режиме автоматического фоторегистратора (продолжительность цикла 4 минуты, где время измерения было 3 минуты). Опыты, доказывающие отсутствие влияния поляризации изоляторов при изменении напряжения на внешнем электроде конденсатора, проводились при наиболее неблагоприятных условиях. В счетчике легких ионов при переходе напряжения на внешнем электроде  $U = +100$  в (условно обозначен интервал измерения «+5»), в течение 60 сек на  $U = -2$  в (инт. «-1») (рис. 4) отклонения от графика линейной зависимости невелики и лежат в пределах погрешностей измерений. То же самое можно отметить в счетчике тяжелых ионов при переходе напряжения  $U = +280$  в (инт. «+5») на  $U = -3,5$  в (инт. «-1») (рис. 5).

Таким образом, в случае комбинированного счетчика, влияние поляризации изоляторов практически устранено, и счетчик можно использовать в работе с помощью автоматического фоторегистратора.



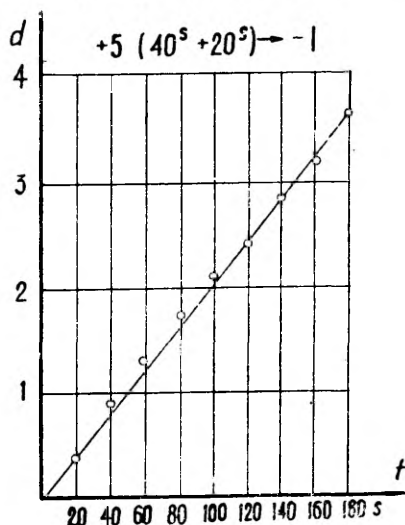
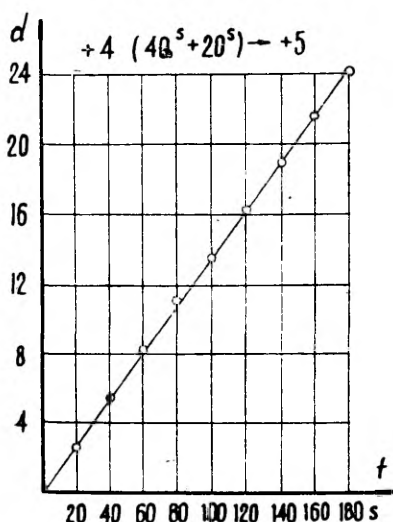
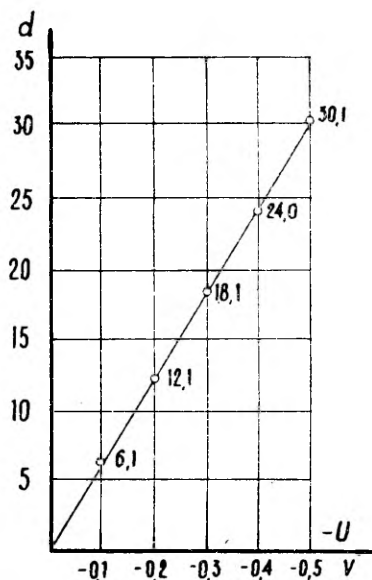
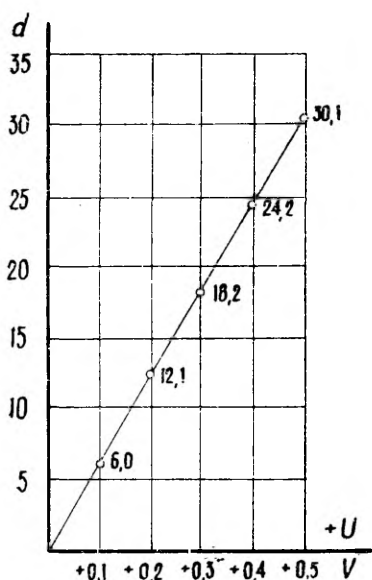


Рис. 4. Верхний ряд: контроль чувствительности электрометра СГ-1М; показания электрометра ( $d$ ) при подаче на внутренний электрод напряжения до  $+0,5$  и  $-0,5$  вольт. Нижний ряд: контроль поляризации изоляторов конденсатора легких ионов; показания электрометра ( $d$ ) при измерении ионизации в течение 180 сек после перехода от напряжения на внешнем электроде  $U = +50$  в (инт. «+4») в течение 60 сек на напряжение  $U = +100$  в (инт. «+5») и то же самое после перехода от напряжения  $U = +100$  в (инт. «+5») на напряжение  $U = -2$  в (инт. «-1»).

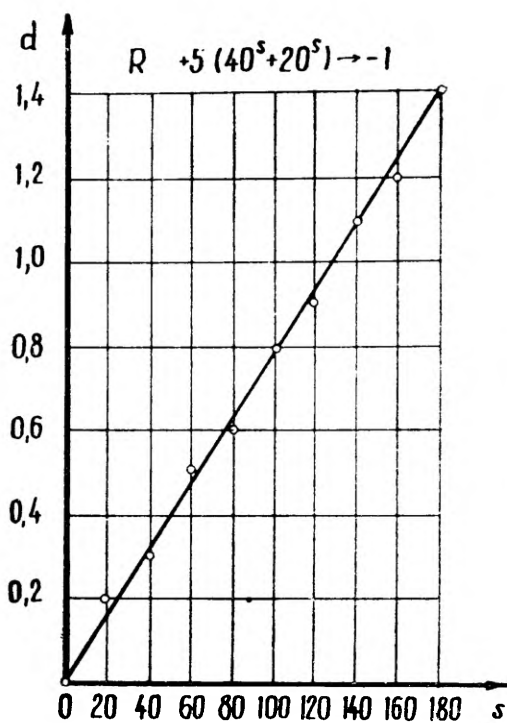


Рис. 5. Контроль поляризации изоляторов конденсатора тяжелых ионов; показания электрометра ( $d$ ) при измерении ионизации в течение 180 сек после перехода от напряжения на внешнем электроде  $U = +282$  в (инт. «+5») на напряжение  $U = -3,5$  в (инт. «-1»).

#### 1.4. Расчетные формулы для комбинированного счетчика ионов

##### 1.4.1 Счетчик легких ионов

При указанных размерах конденсатора легких ионов (1.1) по теории аспирационного счетчика [Таммет 1967 Имянитов 1957] формула для расчета предельной подвижности имеет вид

$$k_0 = (0,007495 \pm 0,000025) \frac{\Phi}{U} \text{ см}^2/\text{сек в}, \quad (1)$$

где относительная погрешность коэффициента  $E_{k_0} = 0,3\%$ .  $\Phi$  — расход воздуха;  $U$  — напряжение на внешнем электроде.

При использовании расхода воздуха  $\Phi = (667 \pm 6) \text{ см}^3/\text{сек}$  по формуле (1) получается

$$k_0 = (5,00 \pm 0,07) \text{ см}^2/\text{сек} \cdot \text{в}, E_{k_0} = 1,2\%. \quad (2)$$

При предельных подвижностях

$$k_0 = 2,5, 1,0; 0,5; 0,1 \text{ и } 0,05 \text{ см}^2/\text{сек} \text{ в}$$

напряжение на внешнем электроде конденсатора по формуле (2) соответственно  $U = 2, 5, 10, 50$  и  $100$  вольт.

Емкость измерительной системы счетчика легких ионов, измеренная мостом емкостей как среднее из 50 измерений

$$C_1 = (38,9 \pm 1,8) \text{ см}, E_{C_1} = 4,8\%.$$

Емкости счетчика легких и тяжелых ионов определялись в 1960 г. с помощью моста типа 650А фирмы Джeneral Радиокон-пани (США). В 1968 г. проводилась проверка указанного моста с помощью прецизионного моста емкости типа ВМ 400 фирмы Тес-ла (Чехословакия) класса 0,1. Показания мостов отличались при измерении емкости воздушного конденсатора ( $43,2 \text{ пф}^*$ ) на  $2,1\%$  (т. е. на  $0,9 \text{ пф}$ ), а при емкости  $268,4 \text{ пф}^{**}$  на  $0,3\%$  (т. е. на  $0,7 \text{ пф}$ ). Таким образом, отклонения показаний моста 650 А нахо-дились еще в 1968 г. в пределах погрешностей, указанных в его паспорте. Учитывая точность моста емкости типа ВМ 400, на-званные разности  $0,9 \text{ пф}$  и  $0,7 \text{ пф}$  приняты как инструменталь-ные погрешности моста типа 650 А.

При нормальных условиях в атмосфере заряд легкого иона равен одному элементарному заряду

$$e = (1,60206 \pm 0,00003) 10^{-19} \text{ к} = (4,8029 \pm 0,0001) 10^{-10} \text{ СГСЭ (q)}$$

По теории аспирационного счетчика [Таммет, 1967; Имяни-тов, 1957] формула для расчета концентрации легких ионов (точ-нее, число элементарных зарядов в  $1 \text{ см}^{-3}$ )

$$n = (270 \pm 13) 10^6 \frac{\Delta U}{\Phi \cdot t} (\text{см}^{-3}). E_n = 4,8\%, \quad (3)$$

где  $\Delta U$  — изменение потенциала внутреннего электрода (вольт),  $\Phi$  — расход воздуха ( $\text{см}^3/\text{сек}$ ) и  $t$  — время измерения (сек).

На фотограмме фоторегистратора сфотографирована шкала с делениями  $1 \text{ мм}$ . Для нахождения концентрации ионов раз-ность между конечным и начальным отсчетами фотограммы ум-ножается на концентрацию ионов ( $\text{см}^{-3}$ ), соответствующую од-ному делению. На фотограмме отсчитывается с помощью лупы разность отсчетов с абсолютной погрешностью  $0,1 \text{ мм}$ .

Измерения с автоматическим фоторегистратором проведены при чувствительности электрометра СГ-1М

$$\delta = \frac{1}{60} \text{ в/дел} = (0,0167 \pm 0,0002) \text{ в/дел.}, E_\delta = 1,2\%.$$

\*  $43,2 \text{ пф} = 38,9 \text{ см}$  — емкость измерительного конденсатора легких ионов.

\*\*  $268,4 \text{ пф} = 241,5 \text{ см}$  — емкость измерительного конденсатора тяжелых ионов.

При измерениях с фоторегистратором время одного цикла измерения, как арифметическое среднее из 10 серий измерений, каждое по 10

$$t = (180,2 \pm 0,5) \text{ сек}, E_t = 0,3\%.$$

Расход воздуха измеряли ротаметром, калиброванным по скорости вытеснения воздуха из водяного бака и, кроме того, реометром. Она вместе с погрешностью [Reinet, 1958, дисс. стр 43] оказалась следующей:

$$\Phi = (667 \pm 6) \text{ см}^3/\text{сек}, E_\Phi = 0,9\%.$$

Для одного деления фотограммы (1 мм) по формуле (2) рассчитывается концентрация

$$\begin{aligned} n_a &= (270 \pm 13) \cdot 10^6 \frac{\Delta U}{\Phi \cdot t} = (270 \pm 13) \cdot 10^6 \frac{(0,0167 \pm 0,0002)}{(667 \pm 6) (180,2 \pm 0,5)} = \\ &= (37,6 \pm 2,7) \text{ см}^{-3}, E_{n_a} = 7,2\%. \end{aligned} \quad (4)$$

Концентрация ионов рассчитывается по формуле

$$n = a \cdot n_a, \quad (5)$$

где  $a$  — разность конечного и начального отсчетов на фотограмме в миллиметрах, и  $n_a$  вычисляется по формуле (4). Относительная погрешность числа  $a$ , равная  $E_a = \frac{0,1}{a}$ , меняется в пределах от 1,7% до 0,7%, а  $E_{n_a} = 7,2\%$  — постоянная величина.

Максимальная инструментальная относительная погрешность (емкость, чувствительность электрометра, время цикла, расход воздуха и отсчет по фотограмме) при средних концентрациях молионов ( $250\text{—}300 \text{ см}^{-3}$ ) равна 9% и легких ионов ( $460\text{—}560 \text{ см}^{-3}$ ) — 8% концентрации.

При этих инструментальных погрешностях не учтены:

1) погрешность за счет искажения воздушной пробы (потеря концентрации в воздушном канале и у стены здания), расчет которой требует трудоемких специальных исследований. Наши исследования воздушной пробы с помощью портативного счетчика с динамическим электрометром показывают, что потеря концентрации положительных средних ионов ( $k_0 = 0,02 \text{ см}^2/\text{сек} \cdot \text{в}$ ) под влиянием стены (портативный счетчик на дворе на расстоянии 3 м от стены) равна 3% и в воздушном канале (длина 1,6 м) — 6%, в сумме 9%, т. е. равна инструментальной погрешности. У тяжелых ионов (счетчик у окна) рассчитывается только влияние стены, т. е. 3%;

2) влияние температуры на расход воздуха, которое проявляется только зимой. При температуре калибровки ротаметра (лаборатории)  $15^\circ \text{C}$  и при минимальных среднемесячных зимних

температурах от  $-5^{\circ}\text{C}$  до  $-10^{\circ}\text{C}$  эта погрешность увеличивает концентрацию ионов от 7% до 9% концентрации, т. е. зимой частично компенсирует погрешность воздушной пробы. Уровень естественного  $\gamma$ -излучения перед окошком воздушного канала равняется  $(20 \pm 8)$  микрорентгена/час, что соответствует нормальному фону  $\gamma$ -радиации.

Проведенные в 1962 г 17 измерений положительных средних ионов ( $k_0 = 0,02 \text{ см}^2/\text{сек} \cdot \text{в}$ ) попеременно счетчиком легких ионов, снабженным электрометром СГ-1М, и динамическим электрометром (гл. 3) показывают хорошее совпадение концентрации. Средняя разница 1%, а максимальная 5% от концентрации, измеренной электрометром СГ-1М.

#### 1.4.2. Счетчик тяжелых ионов

Формула для расчета предельной подвижности

$$k_0 = (0,00041 \pm 0,00001) \frac{\Phi}{U} \text{ см}^2/\text{сек} \cdot \text{в}, \quad E_{k_0} = 2,5\%. \quad (6)$$

При использовании расхода воздуха  $\Phi = (171 \pm 4) \text{ см}^3/\text{сек}$   $E_{\Phi} = 2,4\%$  [Reinet, 1958, дисс. стр. 43] по формуле (6) получается

$$k_0 \quad U = (0,070 \pm 0,004) \text{ см}^2/\text{сек}, \quad E_{k_0} = 5\%. \quad (7)$$

Емкость добавочного конденсатора  $C_3 = 25,2 \text{ см}$ . При расходе воздуха  $\Phi = 171 \text{ см}^3/\text{сек}$  и напряжении на добавочном конденсаторе  $(5,4 \pm 0,3) \text{ в}$  улавливаются все ионы, подвижность которых  $k \geq 0,1 \text{ см}^2/\text{сек} \cdot \text{в}$ .

При измерении средних тяжелых ионов с расходом воздуха  $\Phi = 171 \text{ см}^3/\text{сек}$  в интервалах  $0,1 > k \geq 0,01$ ,  $0,1 > k \geq 0,001$  и  $0,1 > k \geq 0,00025 \text{ см}^2/\text{сек}$  в напряжения на внешнем электроде конденсатора по формуле (7) равны соответственно 7,0, 70,0 и 280 вольт.

Емкость измерительной системы счетчика тяжелых ионов (среднее из 50 измерений)  $C_2 = (241,5 \pm 1,8) \text{ см}$ ,  $E_{C_2} = 0,8\%$ .

Формула для расчета концентрации тяжелых ионов (точнее число элементарных зарядов в  $1 \text{ см}^{-3}$ )

$$N = (1676 \pm 14) \cdot 10^6 \frac{\Delta U}{\Phi \cdot t}, \quad E_N = 0,8\%, \quad (8)$$

где  $\Delta U$  — изменение потенциала (вольт) внутреннего электрода;  $\Phi$  — расход воздуха ( $\text{см}^3/\text{сек}$ ) и  $t$  — время измерения (сек).

Для одного деления фотограммы (1 мм) по формуле (8) рассчитывается концентрация

$$N_a = (1676 \pm 14) \cdot 10^6 \frac{(0,0167 \pm 0,0002)}{(171 \pm 4) (180,2 \pm 0,5)} =$$

$$= (908 \pm 43) \text{ см}^{-3}, E_{N_a} = 4,7\%. \quad (9)$$

Концентрация рассчитывается по формуле (5)

$$N = a \cdot N_a. \quad (5a)$$

Относительная погрешность числа  $a$  меняется в пределах от 2% до 4%, а  $E_{N_a} = 4,7\%$  — постоянная величина.

Максимальная инструментальная относительная погрешность (емкость, чувствительность электрометра, время цикла, расход воздуха и отсчет по фотограмме) при средних концентрациях средних ионов ( $2300\text{—}2400 \text{ см}^{-3}$ ) равна 9% и тяжелых ионов ( $4200\text{—}4600 \text{ см}^{-3}$ ) — 7%. К этим погрешностям прибавляются погрешность воздушной пробы (—3% концентрации) и зимой погрешность влияния температуры на расход воздуха (от 7% до 9% концентрации).

## 2. Автоматический фоторегистратор

В 1953—54 годах в Тартуском государственном университете сконструирован первый фоторегистратор, описанный в работе [Saks, 1956]. На основании накопленного опыта в 1957—59 гг. был сконструирован более совершенный фоторегистратор АФР, который применялся при измерениях ионизации в г. Тарту в 1960—1963 гг.

АФР состоит из двух основных блоков: фотокамеры и коммутатора. Общий вид и расположение их в рабочем состоянии показаны на рис. 6, а принципиальная схема прибора — на рис. 7.

### 2.1. Камера

Камера предназначена для регистрации отсчетов электрометра СГ 1М и для фиксации времени проведения измерений.

В цилиндрической кассете камеры (рис. 6, поз. 3) находится барабан окружностью 280 мм. Барабан покрывается фотобумагой шириной 120 мм. На этой бумаге фотографируются отсчеты электрометра.

Оптическая схема устройства изображена в верхней части рис. 7. Осветитель  $S_2$ , окна электрометра  $E$  и микроскоп  $M$  расположены на одной оптической оси. С помощью микроскопа типа Мир-1 проектируется увеличенное изображение индекса (отсчетной нити) электрометра на горизонтальную щель камеры. Щель имеет размеры  $100 \times 2$  мм. Через щель изображение попадает на барабан  $T$ , который располагается в непосредственной

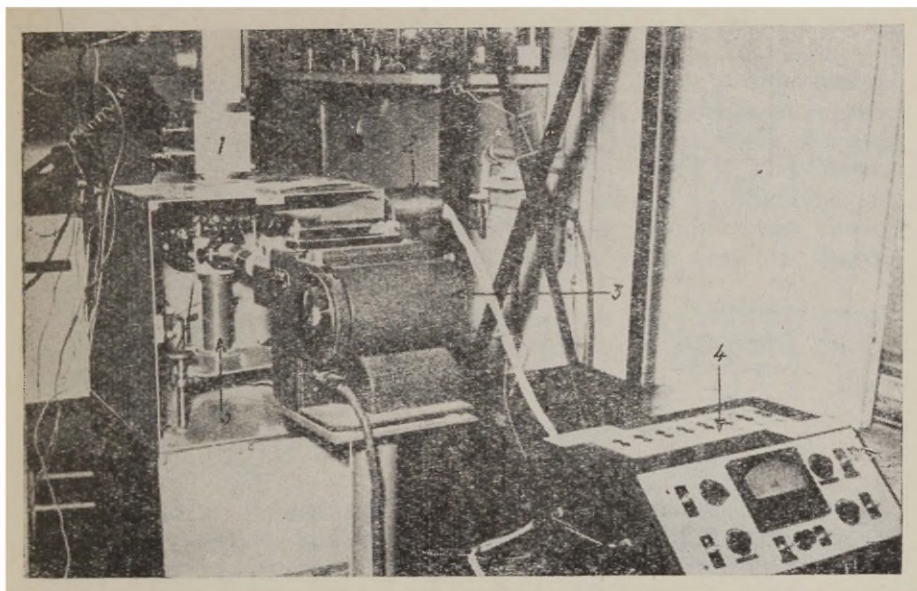


Рис. 6. Общий вид автоматического фоторегистратора к счетчику атмосферных ионов. 1 — камера, соединяющая конденсатор легких ионов с камерой электрометра; 2 — входной блок динамического электрометра; 3 — фоторегистратор; 4 — коммутатор автоматического фоторегистратора; 5 — электрометр.

близости за щелью и покрыт фотобумагой. Таким образом, фотографируется на фотобумаге не все изображение индекса электрометра, а только (рис. 8) та часть, которая проектируется через щель. Фотографирование производится путем включения лампочки на две секунды. После освещения электромагнит  $EM_4$  автоматически поворачивает барабан на 2 мм вперед.

Для облегчения чтения (расшифровки) фотограммы на ней фотографируются также деления шкалы, помещенной перед щелью. Шкала представляет собой прозрачную пленку, на которой через каждый миллиметр нанесены непрозрачные деления. Кроме того, миллиметровые деления разделены низкими штрихами. В начале фотограммы проектируются также цифры шкалы.

На левом краю фотограммы автоматически регистрируется время проведения измерения. Для этого в камере имеется специальный механизм.

На двух непрозрачных пленочных цилиндрах К сделаны прозрачные цифры, на одном — от 00 до 59, а на другом — от 0 до 23. Регистрация времени производится путем включения лампочки  $S_3$ , освещающей цифры на цилиндрах. Цифры проекти-

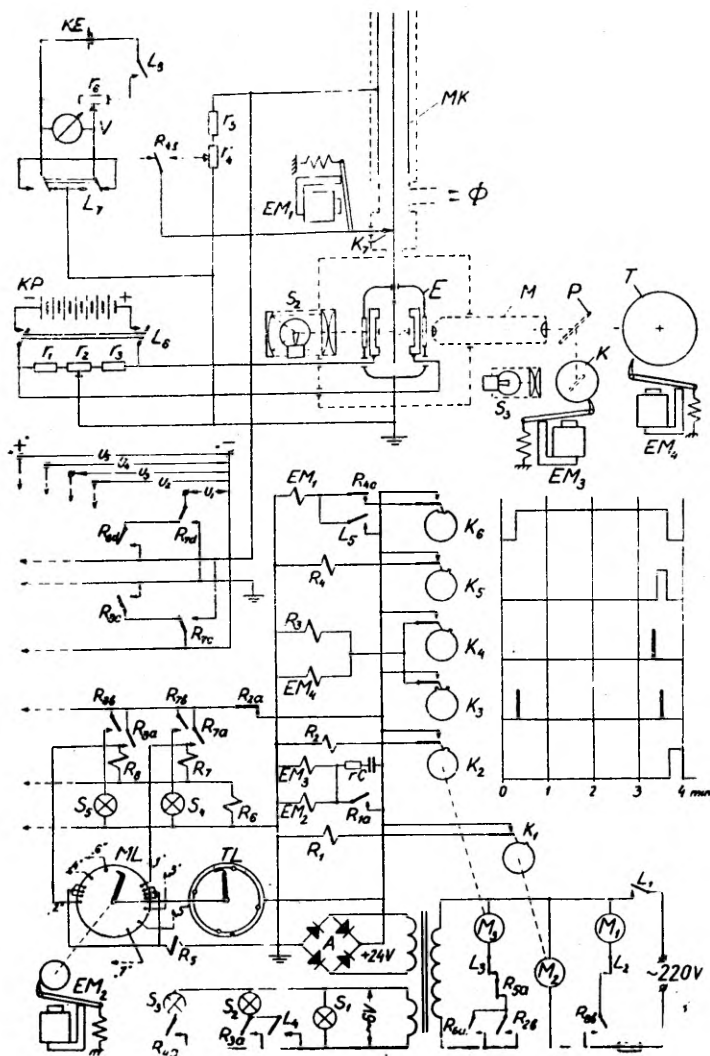


Рис. 7 Принципиальная схема автоматического фоторегистратора.

МК — измерительный конденсатор счетчика ионов; Ф — поток воздуха с постоянным расходом; Е — электрометр; М — микроскоп; Р — зеркала для проекции знаков времени; Т — барабан с фотобумагой; К — пленочные цилиндры со знаками времени; S<sub>1</sub> — сигнальная лампочка на панели коммутатора; S<sub>2</sub> — осветитель к электрометру; S<sub>3</sub> — осветитель для фотографирования знаков времени; S<sub>4</sub>—S<sub>17</sub> — сигнальные лампочки пределов измерения; EM<sub>1</sub> — электромагнит контакта заземления; EM<sub>2</sub> — электромагнит программного включателя; EM<sub>3</sub> — электромагнит механизма вращения пленочных цилиндров; EM<sub>4</sub> — электромагнит механизма вращения барабана; ML — минутный включатель; TL — часовой включатель; R<sub>1</sub> — силовое реле для передачи импульсов электромагнитам EM<sub>2</sub> и EM<sub>3</sub>; R<sub>2</sub> — реле, замыкающее цепь мотора M<sub>3</sub> для привода контактных систем K<sub>2</sub>—K<sub>6</sub> в начальное положение; R<sub>3</sub> — реле, включающее источник света S<sub>2</sub>; R<sub>4</sub> — реле, служащее для включения источника света S<sub>3</sub> и для подачи контрольного напряжения на внутреннюю систему МК; R<sub>5</sub> — реле для продления промежутка времени аспирации от 3 до 6 минут; R<sub>6</sub> — реле, включающее моторы M<sub>1</sub> и M<sub>3</sub>; R<sub>7</sub>—R<sub>20</sub> — реле, подающие напряжение на измерительный конденсатор МК; M<sub>1</sub> — электро-



руются с помощью линзы и зеркала Р на краевую полосу фотографии. Пленочные цилиндры вращаются под действием электромагнитного (ЕМ<sub>3</sub>) часового механизма.

Так как окружность барабана составляет 280 мм, а одно фотографирование охватывает 2 мм, то на одной фотографии помещается 140 снимков. Если фотографируются также цифры шкалы, то возможное количество снимков уменьшается на 4. О количестве сделанных снимков можно судить по шкале на боковой части камеры. После совершения необходимого количества снимков оператор отделяет кассету с барабаном от камеры. Фотограмма проявляется в темной комнате.

В качестве фотоматериала применяется стандартная фото бумага «Унибром» № 3 размером 24×30 см. Из одного листа получаются две фотографии.

## 2.2 Коммутатор

Коммутатор предназначен для автоматического приведения в действие счетчика ионов по программе, заданной оператором, и для управления всеми операциями, из которых состоит каждый цикл измерения. Эти операции следующие:

а) подается напряжение на внешний электрод счетчика и включается вентилятор;

б) после истечения 20 секунд с момента выполнения операции по пункту а) от внутренней системы счетчика удаляется контакт заземления К<sub>7</sub>;

в) фотографируется начальное положение индекса электрометра и поворачивается барабан на 2 мм;

г) после истечения 3 минут (или 6 минут при предельной подвижности  $k_0 = 2,5 \text{ см}^2/\text{сек} \cdot \text{в}$ ) с момента операции по пункту в) фотографируется положение индекса электрометра, соответствующее заряду накопленных ионов и поворачивается барабан;

д) подается контрольное напряжение на электрометр, фото-

---

мотор вентилятора; М<sub>2</sub> — синхронный двигатель типа СД-2 для создания импульсов тока с периодом 1 мин.; М<sub>3</sub> — синхронный двигатель типа СД-2 для вращения вала контактных систем К<sub>2</sub>—К<sub>6</sub> со скоростью 1 оборот за 4 мин.; К<sub>1</sub> — контакт для создания импульсов с периодом 1 мин.; К<sub>2</sub>—К<sub>6</sub> — контактные системы, управляющие всеми операциями в течение каждого цикла измерения; К<sub>7</sub> — контакт заземления внутренней системы измерительного конденсатора; L<sub>1</sub> — выключатель сетевого напряжения; L<sub>2</sub> — выключатель вентилятора; L<sub>3</sub> — переключатель режимов «автоматически-визуально»; L<sub>4</sub> — выключатель осветителя S<sub>2</sub> для визуальных измерений; L<sub>5</sub> — выключатель контакта К<sub>7</sub> (электромагнита ЕМ<sub>1</sub>); L<sub>6</sub> — выключатель батареи КР; L<sub>7</sub> — переключатель полярности калибровочного напряжения; L<sub>8</sub> — выключатель калибровочного напряжения; КР — батарея БАСГ-90 питания пластин электрометра; КЕ — источник питания калибровочного потенциометра г<sub>6</sub>; А — селеновый выпрямитель на 24 в; V — вольтметр для калибровки электрометра; г<sub>1</sub> и г<sub>3</sub> — резисторы делителя напряжения; г<sub>2</sub> — потенциометр установки электрического нуля электрометра; г<sub>4</sub> — потенциометр регулировки напряжения контрольного отсчета; г<sub>5</sub> — резистор делителя напряжения; г<sub>6</sub> — потенциометр источника напряжения для калибровки электрометра.

графируется соответствующее положение индекса (контрольный отсчет) и поворачивается барабан;

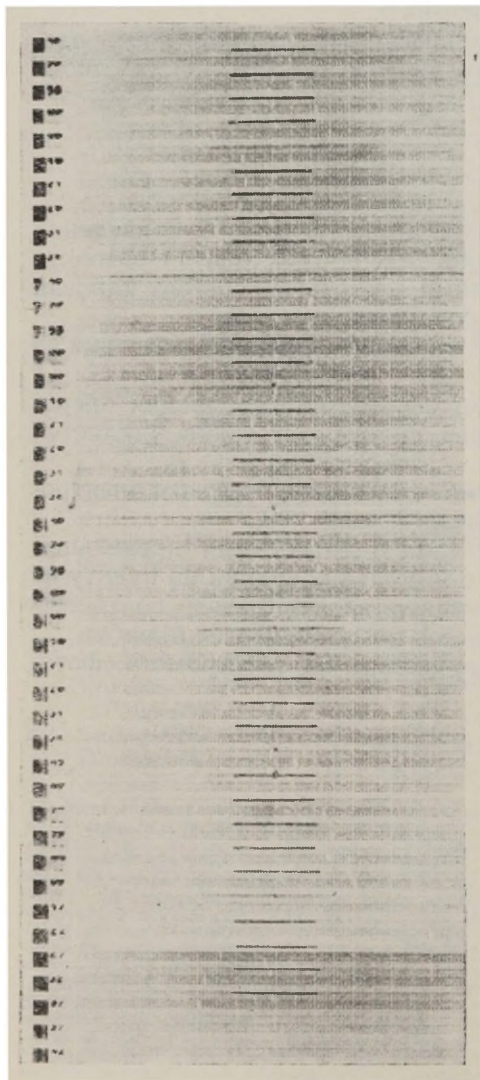
е) регистрируется время (часы и минуты) проведения цикла;

ж) счетчик, электрометр и все механизмы приводятся в начальное состояние.

Из вышеуказанного следует, что отсчеты электрометра фотографируются в течение каждого цикла измерения три раза. Необходимость в этом вызвана следующими причинами.

После отключения контакта  $K_7$  на внутренней системе счетчика остается заряд со случайной величиной, отклоняющий ин-

1/V 1962 г.



Р и с. 8. Фотограмма автоматического фоторегистратора.

декс электрометра от нулевого деления шкалы. Это начальное отклонение необходимо учесть при определении заряда, накопленного только посредством ионов. Благодаря двукратному фотографированию, в начале и в конце аспирации воздуха, расстояние между положениями изображения индекса на фотограмме пропорционально величине заряда, накопленного ионами.

Третье фотографирование индекса в каждом цикле измерения, т. н. контрольный отсчет, облегчает чтение (расшифровку) фотограммы. В контрольном отсчете закодирована информация о предельной подвижности и полярности ионов, накопленных в течение данного цикла. При контрольном отсчете отклонение индекса электрометра от нулевого деления шкалы пропорционально напряжению, поданному на внешний электрод счетчика. Масштаб выбран таким образом, что на фотограмме одному миллиметру соответствует напряжение 10 в на внешнем электроде счетчика.

Одна из фотограмм, датированная 1 мая 1962 г. с началом в 1 ч. 4 мин, приведена на рис. 8. Черными горизонтальными линиями, нанесенными вручную, разделяются полосы фотограммы, соответствующие отдельным циклам измерений. Вертикальные, белые жирные штрихи высотой 2 мм представляют собой изображения индекса электрометра. В каждом цикле (между черными линиями) на первой сверху полосе сфотографирован начальный отсчет, на второй — конечный, а на третьей — контрольный отсчет.

### 2. 3. Электрическая схема

Ниже рассматривается электрическая схема АФР изображенная на рис. 7.

АФР позволяет автоматически регистрировать до 14 разных диапазонов ионного спектра, из них 7 положительных и 7 отрицательных. Временная программа измерений задается оператором путем расположения штепселей на шкалах программного устройства, основными узлами которого являются: минутный включатель ML и часовой включатель TL. АФР может работать непрерывно или с перерывами в зависимости от заданной программы.

Стрелки TL и ML совершают один оборот, первая — за одни сутки, вторая — за 1 час. Гнездо часового включателя присоединено к источнику питания +24 в. АФР включается автоматически в те часы, когда стрелка TL находится в контакте со штепселями.

Рассмотрим работу программного устройства в тот период, когда стрелка TL имеет контакт с одним из штепселей. Контактное время стрелки со штепселем длится 56 минут. В течение этого периода стрелка минутного включателя ML, соединенная

с источником питания через стрелку TL, включает реле  $R_7—R_{20}$ . Последние срабатывают в такой же последовательности, в какой штепсели (с номерами реле) вставлены в гнезда ML. Каждое из реле  $R_7—R_{20}$  соединено с одним из штепселей ML гибким проводником. В зависимости от программы могут быть вставлены в гнезда все 14 штепселей или же меньшее количество в любой последовательности. На рис. 7 показаны только реле  $R_7$  и  $R_8$ , так как остальные  $R_9—R_{20}$  представляют собой аналогичные пары. Реле  $R_7—R_{20}$  совершают переключения в цепях аккумуляторной батареи, служащей источником напряжения  $U_1—U_5$ , подаваемого на измерительный конденсатор МК. При срабатывании реле с нечетными номерами  $R_7—R_{19}$  клемма «плюс» аккумуляторной батареи заземляется, а клемма «минус» соединяется с внешней обкладкой измерительного конденсатора МК. При срабатывании остальных реле (с четными номерами  $R_8—R_{20}$ ) происходит обратное подключение, т. е. на МК подается положительное напряжение. Вышеуказанные переключения совершаются контактными группами  $R_{7c}—R_{20c}$  и  $R_{7d}—R_{20d}$ .

Контактные группы  $R_{7a}—R_{20a}$  служат для выдержки этих реле во включенном состоянии и после того, когда контакт между штепселем ML и стрелкой размыкается. Стрелка ML, сдвигаясь скачкообразно, останавливается у каждого штепселя всего лишь в течение одной минуты, а цикл измерения длится 4 минуты, в течение которого очередное реле из  $R_7—R_{20}$  должно обеспечить выдержку напряжения на МК.

Срабатывание каждого реле  $R_7—R_{20}$  сопровождается включением соответствующих сигнальных лампочек  $S_4—S_{17}$ , которые питаются через контактные группы, обозначенные индексом «b» ( $R_{7b}$ ,  $R_{8b}$  и т. д.).

Последовательно с обмотками реле  $R_7—R_{20}$  включена обмотка реле  $R_6$ , поэтому реле  $R_6$  срабатывает каждый раз при включении любого из реле  $R_7—R_{20}$ . Контактная группа реле  $R_6$  замыкает цепи питания вентилятора М (контакт  $R_{6b}$ ), а также синхронного двигателя  $M_3$  (контакт  $R_{6a}$ ). Двигатель  $M_3$  поворачивает ось кулачковой контактной системы, совершающей один оборот за 4 минуты. В течение этого времени, которое будем в дальнейшем называть «циклом», контакты  $K_2—K_6$  совершают включения, переключения и выключения по программе, указанной на графике (рис. 7).

В течение первых 20 секунд с начала цикла не происходит никаких включений, кроме тех, которые происходят при срабатывании реле  $R_7—R_{20}$ . 20 секунд достаточно для установления стационарных процессов в измерительном конденсаторе после подачи напряжения (поляризация диэлектриков, стационарный ток ионов).

На 20-й секунде электромагнит ЕМ удаляет контакт заземления  $K_7$  от внутреннего электрода МК. С этого момента начи-

нается возрастание или убывание потенциала внутреннего электрода МК за счет накапливаемых ионов.

После удаления контакта  $K_7$  фотографируется начальное положение индекса электрометра. Для этого контакт  $K_3$  замыкает цепь реле  $R_3$ , при срабатывании которого включается осветитель  $S_2$  (контакт  $R_{3a}$ ), срабатывает электромагнит  $EM_4$ . Экспозиция длится 2 секунды. После этого барабан камеры поворачивается на  $1/140$  часть полного оборота под действием пружины магнита  $EM_4$ .

Следующее фотографирование индекса электрометра происходит по истечении трех минут со времени первой экспозиции, когда контакт  $K_4$  замыкает цепи реле  $R_3$  и  $EM_4$ . Разность показаний электрометра пропорциональна среднему току ионов, накопленных в течение трех минут.

Немедленно после окончания второй экспозиции при посредстве контакта  $K_5$  срабатывает реле  $R_4$ , контактная группа которого совершает следующие включения и переключения:

- 1)  $R_{4a}$  — включает осветитель  $S_3$  для фотографирования знаков времени;
- 2)  $R_{4b}$  — переключает контакт  $K_7$  на потенциометр  $\pi_4$ ;
- 3)  $R_{4c}$  — размыкает ток в цепи  $EM_1$ , вследствие чего контакт  $K_7$  подключается к внутреннему электроду измерительного конденсатора.

В тот период, когда включено реле  $R_4$ , фотографируется индекс электрометра третий раз в данном цикле. Это и есть контрольный отсчет, о котором упоминалось выше.

Когда до конца цикла остается 20 секунд, контакт  $K_2$  замыкает цепь реле  $R_2$ , которое при срабатывании размыкает цепи реле  $R_6$  и  $R_7$ — $R_{20}$ , в то время как двигатель  $M_3$  не останавливается. Он остается включенным через контактную группу  $R_{2b}$  до тех пор, пока ось кулачковой контактной системы  $K_2$ — $K_6$  не совершила полный оборот.

В связи с тем, что при измерении естественной атмосферной ионизации с предельной подвижностью  $k_0 = 2,5 \text{ см}^2/\text{сек} \cdot \text{в заряд}$ , накапливаемый в течение трех минут, обычно небольшой, пришлось увеличить время аспирации до 6 минут. Это обеспечивает большую точность измерения заряда. Для увеличения цикла на три минуты в гнезда  $ML$  вставлены дополнительные штепсели. Когда стрелка  $ML$  находится в контакте с дополнительными штепселями, замыкается цепь реле  $R_5$ . Вследствие этого размыкается (контакт  $R_{5a}$ ) цепь питания двигателя  $M_3$ , который поворачивает ось контактной системы  $K_2$ — $K_6$ . Каждый дополнительный штепсель продлевает цикл измерения на одну минуту. Таким образом, продлены до 7 минут только циклы измерения при  $k_0 = 2,5 \text{ см}^2/\text{в} \cdot \text{сек}$ , а все остальные измерения проводятся с длительностью циклов 4 минуты.

Программное устройство АФР питается импульсами тока, которые следуют с периодом в 1 минуту. Эти импульсы создаются силовым реле  $R_1$ , срабатывающим с помощью контакта  $K_1$ . Последний замыкается периодически кулачковым механизмом, приводимым в действие синхронным двигателем СД-2 ( $M_2$ ), питаемым от сети. Применение силового реле  $R_1$  обусловлено тем, что электромагниты  $EM_2$  и  $EM_3$  потребляют ток в сумме около 2 ампер.

Пластины электрометра  $E$  подключаются к источнику напряжения  $KP$ , в качестве которого применялась сухая батарея БАСГ-90. Электрическая установка нуля производится с помощью потенциометра  $г_2$ . Для калибровки электрометра, а также для установления чувствительности 60 мм на вольт (по шкале камеры АФР) предназначен источник регулируемого напряжения, состоящий из сухого элемента  $KE$ , потенциометра  $г_6$  и вольтметра  $V$ . Переключатель  $L_7$  служит для изменения полярности регулируемого напряжения.

Напряжение для получения контрольного отсчета снимается с высокоомного делителя напряжения  $г_4—г_5$ .

На передней панели коммутатора находятся следующие органы управления и контроля:  $L_1$  — включатель сетевого питания;  $L_3$  — переключатель режимов работы «автоматически» — «визуально»;  $L_5$  — включатель электромагнита  $EM_1$ , управляющего контактом заземления  $K_7$ ;  $L_6$  — включатель батареи питания электрометра;  $L_7$  — переключатель полярности источника регулируемого напряжения калибровки;  $L_8$  — включатель источника регулируемого напряжения;  $V$  — вольтметр калибровки электрометра;  $г_2$  — потенциометр электрической установки нуля электрометра;  $г_4$  — потенциометр напряжения контрольного отсчета;  $г_6$  — потенциометр источника регулируемого напряжения калибровки электрометра.

### 3. Динамический электрометр

Динамический электрометр подключен к счетчику легких атмосферных ионов по схеме рис. 9.

От аккумуляторной батареи  $P$  на внешний электрод измерительного конденсатора  $МК$  подается напряжение  $U$ , соответствующее предельной подвижности  $k_0$ . Ток ионов  $I_x$ , накопленных на внутреннем электроде счетчика, измеряется по методу падения напряжения  $U_x$  на известном сопротивлении  $R^*$ .

$$I_x = \frac{U_x}{R^*}. \quad (10)$$

При постоянном напряжении  $U$  на измерительном конденсаторе и при постоянном расходе воздуха  $\Phi$  ток  $I_x$  пропорциона-

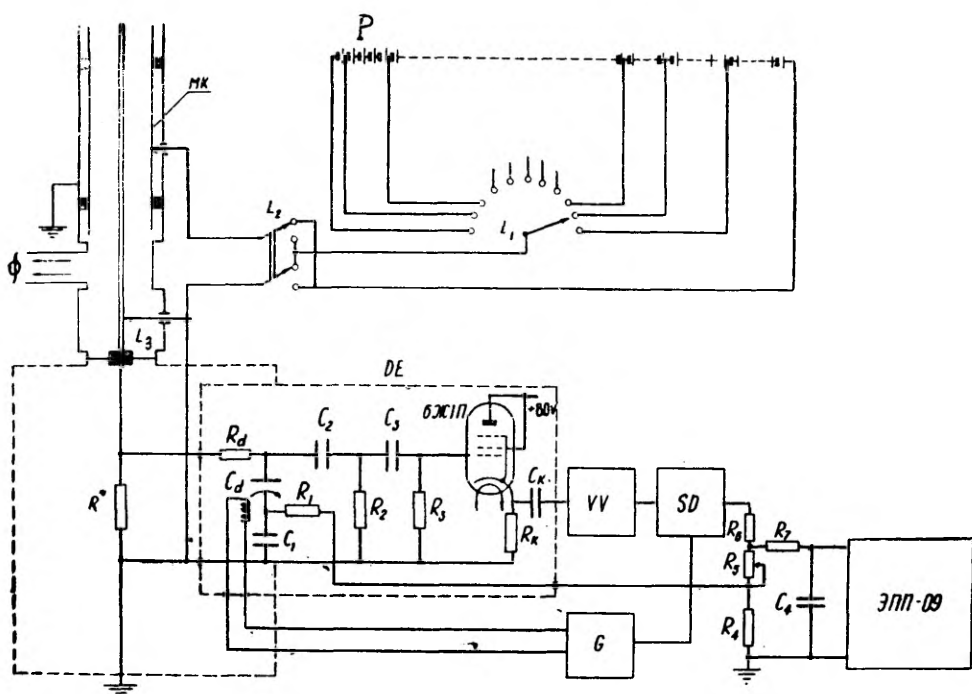


Рис. 9. Принципиальная схема регистрирующего устройства с динамическим электрометром. МК — внешний электрод измерительного конденсатора счетчика ионов; DE — выносной блок динамического электрометра; VV — основной усилитель низкой частоты; SD — синхронный детектор; G — генератор, ЭПП-09 — самопишущий электронный потенциометр; L<sub>1</sub> и L<sub>2</sub> — переключатели напряжения; L<sub>3</sub> — контакт заземления; R\* = 8,84 · 10<sup>10</sup> ом; R<sub>d</sub> = 10<sup>9</sup> ом; R<sub>1</sub> = 1 Мом; R<sub>2</sub> = R<sub>3</sub> = 10<sup>9</sup> ом; R<sub>K</sub> = 10 ком; R<sub>4</sub> = 100 ом; R<sub>5</sub> = 470 ом; R<sub>6</sub> = 3 ком; R<sub>7</sub> = ком; C<sub>d</sub> = 15 пф; C<sub>1</sub> = 1 мкф; C<sub>2</sub> = C<sub>3</sub> = 15 пф; C<sub>K</sub> = 0,1 мкф; C<sub>4</sub> = 4000 мкф.

лен концентрации ионов  $n$  в измеряемом воздухе, так как

$$I_x = ne\Phi, \quad (11)$$

где  $e$  — величина элементарного заряда в кулонах,  $\Phi$  — расход просасываемого воздуха (см<sup>3</sup>/сек).

Из вышеизложенного следует, что

$$n = \frac{I_x}{e\Phi} = \frac{U_x}{e\Phi R^*} = \text{const } U_x. \quad (12)$$

Напряжение  $U_x$  измеряется с помощью динамического электрометра, к выходу которого подключен самопишущий потенциометр типа ЭПП-09.

Динамический электрометр, сконструированный В. Резбенем и О. Саксом, представляет собой усилитель постоянного и медленно меняющегося напряжения со структурой модулятор—усилитель—демодулятор [Лоог и др., 1965]. В качестве модулятора применен динамический конденсатор, описанный в работе [Сакс, 1963].

Динамический конденсатор  $C_d$  (рис. 9) представляет собой конденсатор с плоскопараллельными пластинами. Одна из пластин изолирована от корпуса и является неподвижным электродом модулятора. Вторая пластина, соединенная с корпусом, совершает колебательное движение под действием электромагнита, питаемого от генератора  $G$  гармонического напряжения с частотой 600 гц. Если на неподвижную пластину модулятора подано измеряемое напряжение  $U_x$ , тогда оно модулируется с частотой колебаний второй пластины вследствие периодического изменения емкости. Переменная составляющая напряжения, пропорциональная постоянному напряжению  $U_x$ , передается через конденсаторы  $C_2$  и  $C_3$  на сетку входного каскада усилителя низкой частоты  $VV$ . Входной каскад (на лампе 6Ж1П), представляющий собой катодный повторитель, помещен в выносной блок вместе с динамическим конденсатором  $C_d$  и деталями входной цепи. Основной усилитель  $VV$ , синхронный детектор  $SD$  (по схеме кольцевого диодного демодулятора) и генератор  $G$  помещены в единый блок.

Общий коэффициент усиления устройства стабилизирован отрицательной обратной связью по постоянному напряжению (фактор  $K\beta \geq 30$ , где  $K$  — коэффициент усиления устройства при отсутствии обратной связи,  $\beta$  — коэффициент, показывающий, какая часть выходного сигнала подается обратно на вход усилителя). Напряжение обратной связи сглаживается фильтром  $R_1C_1$ .

С помощью резисторов  $R_4$ — $R_6$  выбрано отношение выходного и входного напряжения таким образом, что полной шкале самопишущего прибора соответствует концентрация ионов  $n = 4000 \text{ см}^{-3}$ . Прибор снабжен шкалой в единицах концентрации ионов.

С помощью интегрирующей цепи  $R_7C_4$  и соответствующей регулировки усилителя электронного потенциометра постоянная времени всей измерительно-регистрирующей системы выбрана равной 10 сек. При указанной постоянной времени система не чувствительна к флуктуациям, вызванным случайными толчками по счетчику ионов, колебаниями напряжения сети и другими случайными причинами.

Значение измерительного резистора  $R^*$  определялось с помощью тераомметра, сконструированного К. Леппиком под руководством В. Резбена и О. Сакса [Леппик, 1962].  $R^*$  определено как среднее из четырех измерений:



$$R^* = (8,48 \pm 0,21) \cdot 10^{10} \text{ ом.}$$

Относительная погрешность определения значения резистора  $\delta = 2,5\%$  представляет сумму инструментальных погрешностей тераомметра, которая не превышает  $2\%$ , и случайной погрешности четырех измерений  $0,5\%$ .

Чувствительность по напряжению на всю шкалу регистрирующей системы, соответствующая концентрации ионов  $n = 4000 \text{ см}^{-3}$ , определяется из формулы

$$U_{x, \text{шк}} = neR^*\Phi, \quad (13)$$

где

$n = 4000 \text{ см}^{-3}$ , точно заданная величина		
$e = (1,6021 \pm 0,0001) \cdot 10^{-19} \text{ к}$ , относительная погрешность		0,006 %
$R^* = (8,48 \pm 0,24) \cdot 10^{10} \text{ ом}$ ,	„	2,5 %
$\Phi = (667 \pm 6) \text{ см}^3/\text{сек}$	„	0,9 %
итого		3,5 %

$$U_{x, \text{шк}} = 4000 \cdot 1,6021 \cdot 10^{-19} \cdot 8,48 \cdot 10^{10} \cdot 667 = (0,0362 \pm 0,0013) \text{ вольт.}$$

Нестабильность рабочего тока регистрирующего потенциометра, нелинейность его реохорда и другие факторы, влияющие на результаты измерения, учтены классом точности потенциометра  $\pm 0,5\%$ .

Суммарная относительная погрешность регистрации концентрации ионов не превышает суммы вышеуказанных погрешностей, т. е.  $\pm 4\%$  от максимального значения шкалы. Соответствующая абсолютная погрешность не превышает

$$\Delta n = \pm 0,04 \cdot 4000 = \pm 160 \text{ см}^{-3}$$

Следует отметить, что эта погрешность является только суммой инструментальных погрешностей, к которой следует прибавить погрешности искажения воздушной пробы, указанные в гл. I.4.1.

С помощью динамического электрометра и регистрирующего потенциометра измерялась концентрация положительных ионов с предельной подвижностью  $k_0 = 0,02 \text{ см}^2/\text{сек} \cdot \text{в}$ .

\* \*  
\*

Благодаря автоматизации процессов измерения, П. Прюллеру удалось накопить обширный фактический материал о состоянии ионизации атмосферы города Тарту за период VIII. 1960 — VII. 1963 г. [Прюллер и др., 1966]. Общее количество измерений, сделанных в течение трех лет с помощью вышеописанного счетчика ионов с автоматическим фоторегистратором и динами-

ческим электрометром, составляет 40 376. В том числе 1 560 отсчетов было сделано с помощью динамического электрометра. По имеющимся данным динамический электрометр с регистрирующим устройством применен П. Прюллером впервые в Советском Союзе при измерениях атмосферной ионизации. Результаты исследования приводятся в настоящем сборнике в статье: «Исследование спектра атмосферных ионов, гигиеническое и метеорологическое значение ионизации атмосферы по данным измерений в г. Тарту».

## ЛИТЕРАТУРА

- Имянитов И. М., Приборы и методы для изучения электричества атмосферы. М., Гостехтеоретиздат, 1957, 483 стр.
- Леппик К., Тераомметр с линейной шкалой. ТГУ. дипломная работа. Тарту, 1962.
- Лоог П. К., Мадисе Т. В., Мартинсон Э. Э., Пиквер Р. И., Резбен В. А., Сакс О. В., Сальм Я. И., Таммет Х. Ф., Электрометры с виброемкостным преобразователем, разработанные в Тартуском государственном университете. Материалы Всес. научн.-техн. совещания по радиоэлектронным методам измерений электрических напряжений и омических сопротивлений. Таллин, 1965, стр. 58—67.
- Прюллер П. К., Сакс О. В., Рейн Я. Я., Ионизация атмосферы и метеорологические элементы в г. Тарту с августа 1960 г. по июль 1963 г. и их гигиеническое значение. — В сб.: Аэроионизация в гигиене труда. Л., 1966, стр. 195—198.
- Рейнет Я. Ю., Комбинированный счетчик атмосферных ионов. — АН СССР Институт технико-экономической информации. М., 1955, тема 4, № ПС-55-409, стр. 1—17.
- Рейнет Я. Ю., Комбинированный счетчик атмосферных ионов. — Тр. Гл. геофиз. обсерв., 1956, 58 (120), 23—20.
- Рейнет Я. Ю., Об изменении ионизации атмосферы в гор. Тарту. — Автореферат дисс. канд. физ.-мат. наук, Тарту, 1958, 15 стр. (ТГУ). Библ. 16 назв.
- Сакс О. В., О конструкции динамического конденсатора для счетчика атмосферных ионов. Тр. Всес. научн. метеорологического совещания, т. 9. Л., Гидрометеиздат, 1963, стр. 303—306.
- Таммет Х. Ф., Аспирационный метод измерения спектра аэроионов. — Уч. зап. ТГУ, 1967, 195, 232 стр.
- Reinet, J., Atmosfääri ionisatsiooni muutustest Tartus. Tartu, 1958 — füüs.-mat. kandidaadiväitekiri (Рейнет, Я. Об изменениях ионизации атмосферы в г. Тарту. Тарту, 1958 — дисс. канд. физ.-мат. наук).
- Saks, O., Automaatne fotograafilineioonide loendaja. — TRÜ Toimet., 1956, 42, 84—93.
- Swann, W. F. G., On certain matters relating to the theory of atmospheric electric measurements. — Terr. Magn. a Atmos. Electr., 1914, 19, 205—218.

Поступила 28/III 1968 г.

# AUTOMAATSE FOTOREGISTRAATORIGA JA DÜNAAMILISE ELEKTROMEETRIGA IOONIDE LOENDUR

P Prüller, O. Saks

## Resümee

Ioonide aspiratsioonloenduri töö automatiseerimine ja ise-registreerivate seadmete kasutamine laiendab ulatuslikult võimalusi süstemaatiliseks atmosfääri-ionisatsiooni uurimiseks.

Töös vaadeldakse aparatuuri, mida kasutati Tartu atmosfääri ionisatsiooni mõõtmiseks kombineeritud loenduriga [J. Reinet 1955, 1956], mis oli üles seatud Tartu kesklinnas ülikooli peahoone põhjatiivas. Nendeks mõõtmisteks kombineeritud loendur ehitati autorite poolt ümber isolaatorites toimuvate polarisatsiooninäh-tuste mõju kõrvaldamiseks lugemitele ja kohandati atmosfääri-ionisatsiooni mõõtmisteks automaatse fotoregistraatoriga või dünaamilise elektromeetriga ja isekirjutajaga.

Kirjeldatav kombineeritud loendur on aspiratsioonloendur, mis töötab laengu kasvu, s. o. maandatava sisekatte meetodil ja võimaldab mõõta ionide kontsentratsioone õhus alates kergetest ioonidest kuni ultrarasketeni (piirliikuvused  $k_0=2,5$  kuni  $0.00025 \text{ cm}^2/\text{s} \cdot \text{V}$ ), kasutades ühte elektromeetrit ja kahte silindrilist mõõte-kondensaatorit (kergete ja raskete ionide kondensaator). Kergete ionide kondensaator on varustatud Swanni elektrostaatilise kaitsega ääreefekti mõju vähendamiseks. Elektromeetrina kasutati elektromeetrit CF-1M tundlikkusega 60 jaot./V kohta. Elektromeetri näidud on võrdelised pingega.

Ioonide kontsentratsioonid arvutati automaatse fotoregistraatori kasutamisel kergete ionide puhul val. 4 ja 5 (keskmine relatiivne viga  $E=8-9\%$ ) raskete ionide puhul val. 9 ja 5a ( $E=7-9\%$ ) ja dünaamilise elektromeetri kasutamisel val. 14 järgi ( $E=4\%$ ). Nende aparatuurivigade puhul ei ole arvestatud:

- 1) õhuproovi viga (kontsentratsiooni kaotus õhukanalis ja maja seina ääres), mis kergete ionide loenduri (mehaanilise või dünaamilise elektromeetriga) puhul on 9% ja raskete ionide loenduri puhul on 3%;
- 2) temperatuuri mõju õhukulule, mis talvel suurendab ionide kontsentratsioone 7—9% võrra, s. o. osaliselt kompenseerib õhuproovi vea.

Elektromeetri CF 1M ja dünaamilise elektromeetri kasutamise puhul mõõdetud ionide kontsentratsioonid korduvail võrdlemistel ühtisid mõõtmisvigade piires. 1960.—1963. a. mõõtmistel tehti nimetatud laitmatult töötanud aparatuuriga kokku 40 376 üksik-mõõtmist.

Automaatne fotoregistraator koosneb fotokaamerast ja kommu-taatorist. Kaamera abil registreeritakse fotograafiliselt elektro-

meetri CF-1M näidud ning mõõtmise kellaajad. Elektromeetri näitude registreerimisel kasutatakse mikroskoopi, mis tekitab kaameras elektromeetri vaatevälja suurendatud kujutise. Elektromeetri niidi kujutisest jäädvustatakse fotogrammil 2 mm kõrgune lõik. Mõõtmise kellaeg registreeritakse numbriliselt fotogrammi serval.

Kommutaatori ülesandeks on loenduri automaatne töölerakendamine operaatori poolt valitud programmi kohaselt ning kõigi operatsioonide automaatne juhtimine, millest koosneb iga mõõtmistsükkel.

Kommutaator sisaldab programmseadeldist, milles pistikute paigutus määrab ionide spektripiirkondade registreerimise järjekorra ning kellaajad. Programm võib sisaldada 1—14 spektripiirkonda.

Enamiku spektripiirkondade puhul kulub ionide kontsentratsiooni automaatseks registreerimiseks 4 minutit, mille vältel fotografeeritakse elektromeetri näite kolmel korral: 1) algnäit, 2) kolmeminutilise aspiratsiooni vältel kogutud laengu suurusele vastav näit ning 3) kontrollnäit, mis on võrdeline pingega mõõtekondensaatori väliskattel.

Ioonide kontsentratsiooni pidevaks registreerimiseks ühel piirliikuvusel  $0,02 \text{ cm}^2/\text{s}$  V kasutati registreerimiseadist, mis koosneb kergete ionide aspiratsioonloendurist, V Reebeni ning O. Saksa konstrueeritud dünaamilisest elektromeetrist ning isekirjutavast elektronpotentsiomeetrist ЭПП-09. Aspiratsioonloenduris saadud voolu, mis on võrdeline ionide kontsentratsiooniga, registreeriti takistil  $10^{11}$  oomi pingelangu mõõtmise meetodil. Registreerimiseadme ajategur  $\tau \approx 10 \text{ s}$ . Kontsentratsiooni registreerimise suhteline viga ei ületa 4% (lisada õhuproovi viga ja temperatuuri mõju viga õhukulule) skaala lõppväärtusest, mis on  $4000 \text{ e/cm}^3$

### Jooniste seletus

- Joon. 1 — Kombineeritud ionide loenduri välisvaade.
- Joon. 2 — Kergete ionide loenduri skeem.
- Joon. 3 — Raskete ionide loenduri skeem.
- Joon. 4 — Elektromeetri CF—1M tundlikkuse ja isolaatorite polarisatsiooni mõju kontroll kergete ionide ja
- Joon. 5 — sama kontroll raskete ionide mõõtmisel.
- Joon. 6 — Automaatse fotoregistraatori üldvaade.
- Joon. 7 — Automaatse fotoregistraatori põhimõtteline elektriline skeem.
- Joon. 8 — Automaatse fotoregistraatori fotogramm.
- Joon. 9 — Dünaamilise elektromeetri ja iseregistreeriva seadise põhimõtteline skeem.

# ION COUNTER WITH AUTOMATIC PHOTORECORDER AND VIBRATING-REED ELECTROMETER

P. Prüller, O. Saks

## Summary

Automation of the work to be done by an ion aspiration counter and use of self-recording equipment considerably extend the possibilities of carrying out a systematic study of atmospheric ionization.

The present paper deals with the equipment used to measure atmospheric ionization with a combined ion counter [J. Reinet, 1955, 1956] which had been installed in the northern wing of the main building of Tartu State University situated in the centre of the town of Tartu.

The combined ion counter built for such measurements was reconstructed by its designers to eliminate the effect of the polarization phenomena taking place in the insulators and was adjusted for the measurement of atmospheric ionization by means of an automatic photorecorder or with a vibrating-reed electrometer and a self-recorder.

The combined ion counter is an aspiration counter operating on the principle of an ever-increasing electric charge (i. e. by the method of a groundable internal electrode). It enables one to measure the ion concentration in the atmosphere from small to ultra-large ions (limiting mobility  $k_0 = 2.5$  up to  $0.00025 \text{ cm}^2/\text{sec V}$ ) by making use of one electrometer and two cylindrical measuring condensers (condensers of small and large ions). The condenser of small ions is supplied with a Swann electrostatic safeguard to reduce the action of the end-effect. In the capacity of an electrometer the authors used an electrometer of the type CF-1M with a sensitivity range of 60 degrees per Volt. The readings of the electrometer were proportional to the potential.

Ion concentrations were calculated by means of the automatic photorecorder — in the case of small ions according to formulae 4 and 5 (mean relative error  $E = 8-9\%$ ) in the case of large ions according to formulae 9 and 5a ( $E = 7-9\%$ ). When the vibrating-reed electrometer was used, the concentration was computed in accordance with formula 12 ( $E = 4\%$ ). Repeated comparisons showed that when the electrometer of the type CF-1M and the vibrating-reed electrometer were used, the measured ion concentrations coincided within the limits of the measuring errors. In the period of 1960—1963 altogether 40,376 individual measurements were carried out with the above-mentioned equipment which functioned faultlessly.

The automatic photorecorder consists of a camera and a com-

mutator. The camera photographically records the readings of the electrometer CF-1M and the time of the measurements. To record the readings of the electrometer, a microscope is used which produces a magnified image of the field of vision in the camera. A 2-mm high section of the image of the pointer of the electrometer is recorded on the photograms, the time of measuring is registered numerically on the margin of the photogram.

The task of the commutator is automatically to switch on the ion counter according to the programme chosen by the operator and to carry out the automatic control of all the operations making up a cycle of measurements.

The commutator contains a programming device in which the arrangement of pins determines the order and the time of recording the regions of the ion spectrum. The programme may include 1 to 14 spectral regions.

In case of the majority of the spectral regions, the automatic recording of the ion concentration takes four minutes in the course of which readings of the electrometer are photographed three times: 1) the initial reading, 2) the reading which corresponds to the quantity of the charge accumulated during the three-minute interval of aspiration, 3) the control reading which is proportional to the potential on the measuring condenser.

To measure the ion concentration continuously at one and the same limiting mobility of  $0.02 \text{ cm}^2/\text{s V}$  a recording device was used consisting of an aspiration counter of small ions, a vibrating-reed electrometer designed by V. Reeben and O. Saks, and a recording electrical potentiometer of the type ЭПП-09. The electric current in the aspiration counter, which is proportional to the ion concentration, was recorded on a resistor of  $10^{11}$  ohms by the potential drop method. The time factor of the recording device was  $\tau \approx 10$  sec. The relative error of recording the ion concentration did not exceed 4% of the end-value of the scale, which is  $4,000 \text{ l/cm}^3$ .

### Explanations of Figures to the Texts

- Fig. 1 — external appearance of the combined ion counter.
- Fig. 2 — diagram of the counter of small ions.
- Fig. 3 — diagram of the counter of large ions.
- Fig. 4 — diagram of checking the sensitivity of the electrometer and the polarization effect of insulators in measuring small ions.
- Fig. 5 — the same in measuring large ions.
- Fig. 6 — general view of the automatic photorecorder.
- Fig. 7 — elementary diagram of the automatic photorecorder.
- Fig. 8 — a photogram taken by the automatic photorecorder.
- Fig. 9 — elementary diagram of the vibrating-reed electrometer and the self-recording device.

# **ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРА АТМОСФЕРНЫХ ИОНОВ, ГИГИЕНИЧЕСКОЕ И БИОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ ИОНИЗАЦИИ АТМОСФЕРЫ ПО ДАННЫМ ИЗМЕРЕНИЙ В г. ТАРТУ**

**П. К. Прюллер**

## **1. Введение**

Длительные исследования атмосферной ионизации важны для изучения физики атмосферы, гигиенической оценки чистоты воздуха городов и промышленных районов, а также для биометеорологических исследований в медицине и в курортологии при изучении влияния окружающей среды на человека [Минх, 1963]. Результаты изучения влияния искусственной ионизации воздуха и электроаэрозолей на живые организмы в настоящее время широко применяются в медицине для физиологических исследований и терапии [Васильев, 1953]. Однако не всегда имеются подходящие условия для тесной координации исследований специалистов из различных областей науки. В Тартуском государственном университете (ТГУ) на физико-химическом и медицинском факультетах, обладающих большими научными традициями, существовали вполне определенные предпосылки для проведения комплексных исследований [Рейнет и соавторы, 1963; Прюллер и соавторы 1963 б; Сийрде, 1966].

В центре г Тарту в 1951 г и с VIII 1960 по VII 1963 гг производились систематические измерения концентрации атмосферных ионов с помощью установленного в главном здании ТГУ комбинированного счетчика ионов [Рейнет, 1955, 1956]. Этот счетчик, работающий по методу заряженного или заземляемой внутренней обкладки, состоит из конденсатора легких ионов, снабженного защитой Сванна для устранения краевого эффекта, и конденсатора тяжелых ионов. Комбинированный счетчик ионов в 1959—1960 гг. был перестроен автором настоящей работы совместно с О. Саксом и приспособлен для работы с автоматическим фоторегистратором либо с динамическим электрометром и регистрирующим прибором [Сакс, 1956; 1963]. В результате перестройки было практически полностью устранено влияние поляризации в

изоляторах и заметно сокращено время, необходимое для измерений.

В 1951 г. Я. Рейнет и Х. Марран измеряли от 3 до 24 раз в сутки концентрации легких и тяжелых ионов [Рейнет, 1958а, б; Марран, 1958]. Всего было сделано 19 440 измерений с визуальной регистрацией.

В 1960—1963 гг. автор настоящей работы измерял концентрации легких ионов с VIII 1960 по VII 1963 г. и наряду с этим концентрации тяжелых ионов с VIII 1960 по XII 1962 г. 4 или 8 раз в сутки, всего 38 817 трехминутных измерений [Прюллер и соавторы, 1963 а; 1966 а, б; Prüller, Reinet, 1966]. При этих измерениях комбинированный счетчик ионов был снабжен аппаратурой для автоматической фотографической регистрации показаний электрометра СГ-1М [Saks, 1956] либо динамическим электрометром [Сакс, 1963] и самописцем.<sup>1</sup> Счетчиком с динамическим электрометром в 1962 г. измерения проводились 4 сутки в месяц, всего в течение 55 суток, и в августе 1963 г. в течение 10 суток. Всего произведено 65 суток или 1560 часов круглосуточной непрерывной регистрации концентрации положительных средних ионов с предельной подвижностью  $k_0 = 0,02$  см<sup>2</sup>/сек в. Работа, выполненная в 1960—1963 гг. по своему общему объему (40 377 трехминутных и часовых измерений) превосходит любое из проведенных ранее исследований ионизации атмосферы в приземном слое.

В международном масштабе начиная с 1920 г. проведено около 150 кратковременных исследований ионизации атмосферы, продолжавшихся обычно менее года (из них в СССР приблизительно 120). Особый интерес к исследованиям ионизации атмосферы проявляется в многочисленных измерениях, проведенных на курортах [Е. А. Чернявский, Узбекистан, Ф. Г. Портнов и Н. С. Темникова, Рига и ее окрестности; Б. И. Стыро, Паланга; С. М. Чубинский, В. Г. Поздеев, Л. А. Сергеев и Р. А. Дубинский, Кавказ; Т. В. Кудрявцева, Алтай; Н. М. Комарова, курорты СССР; П. Д. Ксенофонтова, Томск и т. д.]. Результаты этих измерений часто трудно сравнить между собой вследствие разнотипности применяемых счетчиков и различий в методике наблюдений. Исключение составляет лишь ряд исследований, посвященных измерению спектра атмосферных ионов [Цванг, Комаров, 1959; Yunker, 1940; Siksna, 1952, 1953; Рейнет, 1959; Misaki, 1961, 1968].

---

<sup>1</sup> Описание применяемой аппаратуры при измерениях с 1960 по 1963 гг. дано в настоящем сборнике в статье: «П. Прюллер и О. Сакс. Счетчик атмосферных ионов с автоматическим фоторегистратором и динамическим электрометром».



## 2. Цель и методика исследования

Исследования естественной ионизации проводились в 1960—1963 гг с целью получения комплексной ионизационной и метеорологической характеристики атмосферного воздуха, позволяющей связывать биологические наблюдения с определенными физическими параметрами. Конкретизируя поставленную задачу, необходимо выделить следующие основные разделы.

1) Получение достоверных данных о нормальной естественной ионизации воздуха в приземном слое атмосферы. Кроме уточнения известных в общих чертах годовых и суточных вариаций, необходимо было ответить на вопрос о наличии или отсутствии заметного векового хода концентрации ионов. Это можно было сделать путем сравнения полученных данных с данными измерений, проведенных в том же пункте 10 лет назад в 1951 г.

2) Выяснение общей структуры спектра атмосферных ионов и корреляционной связи между атмосферной ионизацией и метеорологическими элементами (применяя для расчетов электронно-вычислительную машину)

3) Проверка репрезентативности наблюдений, проводимых в условиях небольшого города (типа г. Тарту). Для этого требовалось организовать одновременные измерения в двух различных пунктах с помощью счетчиков, снабженных самопишущей аппаратурой. Полученные данные можно использовать также для характеристики короткопериодических колебаний концентрации ионов.

4) Исследование годового и суточного хода концентрации аэрозолей и плотности объемного заряда по данным измерений концентрации ионов. Это представляет также методический интерес, так как непрерывная регистрация концентрации аэрозолей другими способами трудна и требует автоматизации аппаратуры, приспособленной преимущественно для визуальных отсчетов. Систематические измерения объемного заряда проводились до сих пор редко, и общее число пунктов, для которых имеются такие данные, вероятно, не превышает 10 на всем земном шаре.

5) Проведение эпизодических измерений с помощью счетчика с динамическим электродометром и самописцем для дополнительного подтверждения достоверности данных связи между колебаниями ионизации и метеорологических элементов.

6) Гигиеническая оценка влияния условий небольшого города на чистоту воздуха.

7) Установление типов погоды, соответствующих метеорологическим условиям Эстонской ССР, и характеристика ионизации воздуха при различных (в том числе и циклонических) типах погоды. Исследование с биометеорологической точки зрения влияния погоды и ионизации атмосферы на человека по данным заболеваемости и смертности в г. Тарту с 1960 по 1963 гг.

Исследования 1960—1963 гг. являются по сравнению с исследованиями 1951 г. расширением и углублением проблемы атмосферной ионизации.

При исследованиях 1960—1963 гг. спектр ионов был разделен по подвижности ( $k$ ) ионов на следующие группы.

- |   |                          |                        |
|---|--------------------------|------------------------|
| 1. Легкие ионы ( $p_2$ ) <sup>1</sup>   | $k \geq 0,1$             | см <sup>2</sup> /сек·в |
| 1.1. Молионы ( $p_1$ )                  | $k \geq 1,0$             | „                      |
| 1.2. Промежуточные ионы ( $p_2 - p_1$ ) | $1,0 > k \geq 0,1$       | „                      |
| 2. Тяжелые ионы ( $N_2$ )               | $0,1 > k \geq 0,00025$   | „                      |
| 2.1. Средние ионы ( $N_0$ )             | $0,1 > k \geq 0,01$      | „                      |
| 2.2. Полутяжелые ионы ( $N_1 - N_0$ )   | $0,01 > k \geq 0,001$    | „                      |
| 2.3. Ионы Ланжевена ( $N_2 - N_1$ )     | $0,001 > k \geq 0,00025$ | „                      |
| 3. Ультратяжелые ионы                   | $k < 0,00025$            | „                      |

Для решения поставленных задач в 1960—1963 гг. проводились измерения концентрации ионов обоих знаков при следующих предельных подвижностях:

а) с конденсатором легких ионов:  $k_0 = 2,5$  см<sup>2</sup>/сек·в;  $k_0 = 1,0$  см<sup>2</sup>/сек·в (группа  $p_1$  — молионы);  $k_0 = 0,5$  см<sup>2</sup>/сек·в;  $k_0 = 0,1$  см<sup>2</sup>/сек·в (группа  $p_2$  — легкие ионы) и  $k_0 = 0,05$  см<sup>2</sup>/сек·в;

б) с конденсатором тяжелых ионов (дополнительным конденсатором улавливались ионы, подвижность которых  $k \geq 0,1$  см<sup>2</sup>/сек в),  $0,1 > k \geq 0,01$  см<sup>2</sup>/сек в (группа  $N_0$  — средние ионы);  $0,1 > k \geq 0,001$  см<sup>2</sup>/сек в (группа  $N_1$  — средние и полутяжелые ионы);  $0,1 > k \geq 0,00025$  см<sup>2</sup>/сек в (группа  $N_2$  — тяжелые ионы).

Каждый месяц измерения проводились в течение 28 дней, в том числе 20 дней 4 раза в сутки, 8 дней — по 8 раз в сутки<sup>2</sup>, а в 1962 г. 4 дня в месяц с непрерывной регистрацией показаний самописцем. Легкие и тяжелые ионы регистрировались в поочередные дни. В течение каждого сеанса продолжительностью 56 минут производилось 10 единичных измерений по 3 минуты каждое (при большей предельной подвижности 6 минут). Показания электрометра автоматически фиксировались фоторегистратором.

Усреднение данных производилось по месяцам, годам и в отдельности по двум холодным полугодиям (XI 1960 — IV 1961 гг. и XI 1961 — IV 1962 гг.) и двум теплым полугодиям (V—X 1961 г. и V—X 1962 г.). Достоверность полученных результатов подтверждается хорошей согласованностью данных, относящихся к двум холодным (или, соответственно, двум теплым) полугодиям [Прюллер и соавторы 1963 а; 1966 а, б; Prüller, Reinet, 1966].

<sup>1</sup> Символы  $p_1$ ,  $p_2$ ,  $N_0$ ,  $N_1$ ,  $N_2$  обозначают группу или концентрацию ионов, точнее — концентрацию элементарных зарядов (э.з.) в 1 см<sup>3</sup> воздуха в единицах (э.з.) см<sup>-3</sup> или короче см<sup>-3</sup>.

<sup>2</sup> По тартускому местному времени в 1, 4, 7, 10, 13, 16, 19 и 22 часа.

### 3. Ионизация атмосферы в г. Тарту в 1960—1963 гг.

3.1. Метеорологическая характеристика рассматриваемого периода Метеорологические данные получены от: 1) Актинометрической лаборатории Ин-та физики и астрономии (ИФА) АН ЭССР (на расстоянии 3,5 км от главного здания ТГУ), 2) станции Гидрометеослужбы ЭССР г. Тарту (на расстоянии 8,5 км) и 3) метеорологического наблюдательного пункта при главном здании ТГУ По данным этих станций метеорологическая обстановка в районе города Тарту описывается станциями 1) или 2) достаточно полно и надежно. Кроме данных метеостанций, в работе использованы также синоптические карты Управления Гидрометеослужбы ЭССР

В течение большей части рассматриваемого периода не было значительных отклонений от климатологической нормы — многолетних средних за 1866—1935 гг или от средних за 1926—1935 гг. В виде исключения можно указать на следующие особенности: 1) теплую погоду зимой 1960/61 гг., когда средние температуры с января по март включительно были почти на  $4^{\circ}\text{C}$  выше средних за 1866—1935 гг.; 2) повышенное количество осадков в 1962 г (больше средних за 1866—1935 гг на 156 мм); 3) очень солнечную погоду в июне 1963 г (средняя суточная продолжительность солнечного сияния равнялась 12,3 часа и была на 4,8 часа больше десятилетней средней за 1926—1935 гг.)

3.2. Результаты измерений ионизации атмосферы счетчиком с автоматическим фоторегистратором или с динамическим электрометром. За десять лет произошли сравнительно небольшие изменения спектра атмосферных ионов (табл. 1) Концентрация молионов в 1961—1962 гг. возросла по сравнению с 1951 г. приблизительно на 20%, концентрация легких ионов почти не изменилась, а концентрация средних и полутяжелых, в особенности тяжелых ионов, заметно снизилась в 1961 г., почти на 20%. Это указывает на снижение концентрации ядер, в частности продуктов сгорания, загрязняющих атмосферу. Тенденция к росту концентрации молионов и легких ионов и к снижению концентрации тяжелых ионов заметна также при сравнении двух холодных и двух теплых полугодий 1960—1962 гг. При сопоставлении средних годовых величин эта тенденция из-за аномальных отклонений в переходные месяцы 1960—1962 гг. обнаруживается слабее.

Отрезки ломаных линий годового хода концентрации ионов обоих знаков для предельных подвижностей  $k_0 = 2,5; 1,0; 0,5; 0,1; 0,05 \text{ см}^2/\text{сек}$  в идут почти параллельно (рис. 1), поэтому спектры распределения ионов по подвижностям оказываются достаточно стабильными. Максимумы концентраций молионов ( $n_1$ ) и легких ионов ( $n_2$ ) приходятся в годовом ходе на весенние и летние месяцы (май-июнь), т. е. на периоды интенсивного выхода радона

Средние концентрации легких и тяжелых ионов в 1951, 1961 и 1962 гг.

Период	Легкие ионы ( $\text{см}^{-3}$ )						Тяжелые ионы ( $\text{см}^{-3}$ )					
	$k \geq 1.0$ $\text{см}^2/\text{сек} \cdot \text{в}$			$k \geq 0.1$ $\text{см}^2/\text{сек} \cdot \text{в}$			$0.1 > k \geq 0.001$ $\text{см}^2/\text{сек} \cdot \text{в}$			$0.1 > k \geq 0.00025$ $\text{см}^2/\text{сек} \cdot \text{в}$		
	$n_1^+$	$n_1^-$	$\frac{n_1^+}{n_1^-}$	$n_2^+$	$n_2^-$	$\frac{n_2^+}{n_2^-}$	$N_1^+$	$N_1^-$	$\frac{N_1^+}{N_1^-}$	$N_2^+$	$N_2^-$	$\frac{N_2^+}{N_1^-}$
1951	230	210	1,10	540	460	1,17	2650	2570	1,03	5250	5140	1,02
1961	290	250	1,16	520	460	1,13	2390	2360	1,01	4190	4280	0,98
1962	300	260	1,15	560	500	1,12	2400	2300	1,04	4630	4410	1,05
XI. 60—IV. 61	250	220	1,14	450	390	1,15	2870	2760	1,04	5250	5170	1,02
XI. 61—IV. 62	260	240	1,08	520	460	1,13	2590	2580	1,00	4920	4780	1,03
V—X. 1961	310	270	1,15	550	500	1,10	2120	2080	1,02	3510	3660	0,96
V—X. 1962	360	300	1,20	620	540	1,15	1870	1760	1,06	3670	3460	1,06

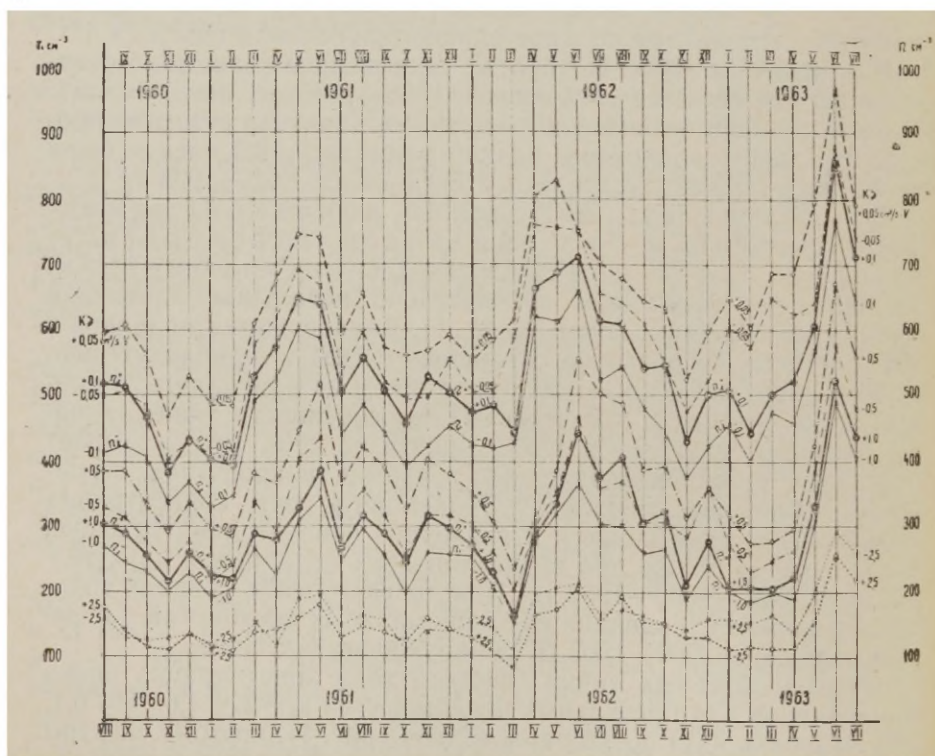


Рис. 1. Годовой ход среднесесячных концентраций ионов, измеренных конденсатором легких ионов при предельных подвижностях  $k_0=2,5; 1,0$  ( $n_1$  — мо-лионы);  $0,5; 0,1$  ( $n_2$  — легкие ионы) и  $0,05 \text{ см}^2/\text{сек} \cdot \text{в}$  за период VIII 1960—VII 1963 г. Рисунок получен на основе 27 731 измерения.

из почвы. Наибольшая концентрация легких ионов за весь период измерений ( $n_2^+ = 860 \text{ см}^{-3}$ ) отмечена в самом солнечном месяце — июне 1963 г. Годовые минимумы наблюдаются в зимние месяцы: январь-февраль 1961 г., март 1962 г., февраль 1963 г.,

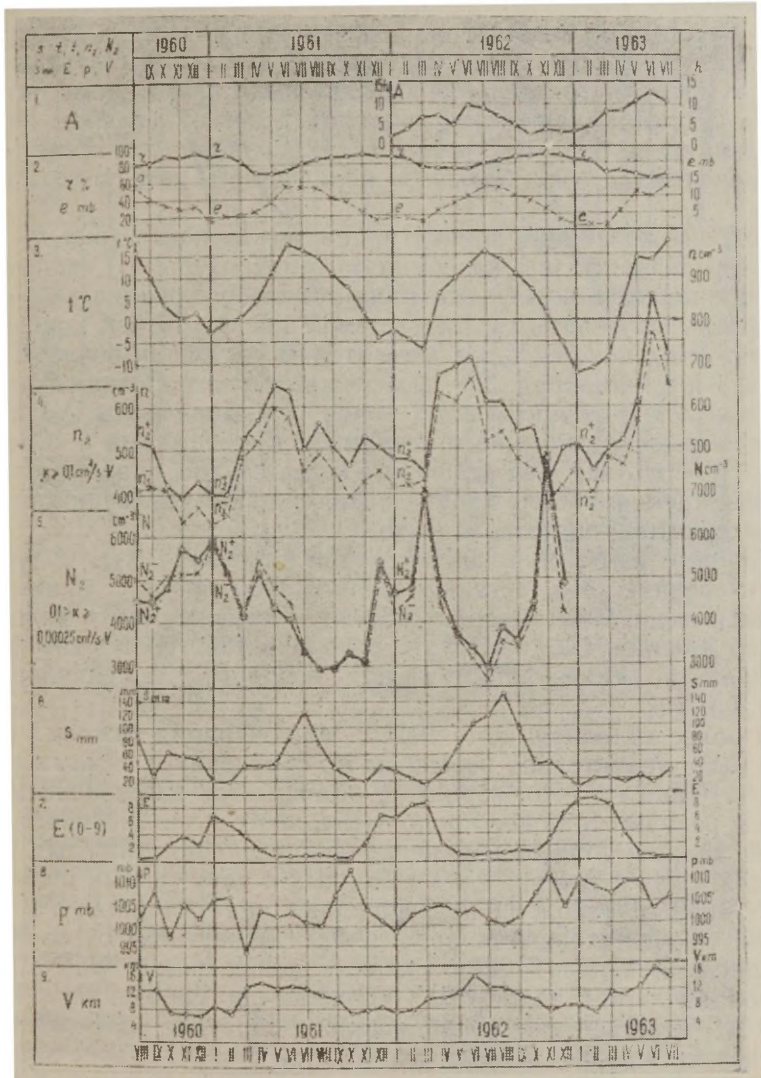


Рис. 2. Ход легких ионов ( $n_2$ ), тяжелых ионов ( $N_2$ ) и метеорологических среднемесячных элементов (измерения в 1, 7, 13 и 19 часов); продолжительность солнечного сияния в часах (A), относительная влажность (r), упругость водяного пара (e), температура (t), осадки ( $S_{\text{мм}}$ ), показатель состояния почвы (E), атмосферное давление (p) и видимость (V) за период VIII 1960 — VII 1963 г.

когда почва была мерзлая и снежный покров имел большую толщину, что препятствует выходу радона. Одним из главных факторов, вызывающих понижение концентрации легких ионов, является также рост концентрации аэрозолей (ядер) и вместе с тем тяжелых ионов. Вторичные минимумы концентрации ионов групп  $p_1$  и  $p_2$  обусловлены различными причинами, например, накопанием почвы при обильных осадках (июль 1961 г.), повышением атмосферного давления (обилие пыли при сухости, октябрь 1961 г.), преобладанием юго-восточных ветров (ноябрь 1962 г., 39% при средних за 1871—1915 гг. 12%), приносящих воздух из районов города с наибольшим количеством источников дыма, и т. д.

Годовые колебания концентрации легких ионов (рис. 2) в общих чертах синфазны колебаниям температуры ( $t$ ), видимости ( $V$ ), продолжительности суточного солнечного сияния ( $A$ ) и противофазны колебаниям относительной влажности ( $r$ ), концентрации тяжелых ионов ( $N_2$ ) и показателям состояния почвы  $E$  (0 — сухая, 1 и 2 — мокрая, 3 — замерзшая и т. д.) Совпадение максимумов концентрации легких ионов ( $p_2$ ), видимости ( $V$ ) и продолжительности солнечного сияния ( $A$ ) в июне как за весь период 1961—1963 гг., так и за отдельные годы, служит дополнительным подтверждением возможности использования величины  $p_2$  для характеристики чистоты воздуха.

Годовые изменения концентрации тяжелых ( $N_2$ ), полутяжелых и средних ( $N_1$ ), а также средних ( $N_0$ ) ионов с минимумом летом (август 1961 г., июль 1962 г.) и максимумом в холодный период (январь 1961 г., март и ноябрь 1962 г.) противофазны изменениям концентрации легких ионов ( $p_2$ ) и молионов ( $p_1$ ) (рис. 1 и 3)

В более холодную зиму 1951 г. концентрация тяжелых ионов ( $N_2$ ) была значительно повышена по сравнению с зимами 1961 и 1962 гг. (рис. 4), что, вероятно, объясняется загрязнением воздуха в результате более продолжительного и интенсивного отопления зданий. Малые изменения концентрации тяжелых ионов из года в год в течение двух холодных и двух теплых полугодий 1960—1962 гг. (табл. 1) подтверждают как стабильность ионизации, так и надежность проведенных измерений. В результате повышенной концентрации тяжелых ионов зимой 1951 г., концентрация легких ионов была понижена по сравнению с 1960—1963 гг.; в летнее время наблюдалось обратное соотношение — вследствие меньшей влажности воздуха более высокие значения  $p_2$  отмечены в 1951 г.

Зимой 1951, 1961 и 1962 гг. при равных среднемесячных температурах среднемесячные концентрации тяжелых ионов также равны. Этот факт и другие (гл. 3.4) например незначительное изменение коэффициентов корреляции за 10 лет (1951 и 1961, 1962 гг.) и малые значения коэффициента альтернативности



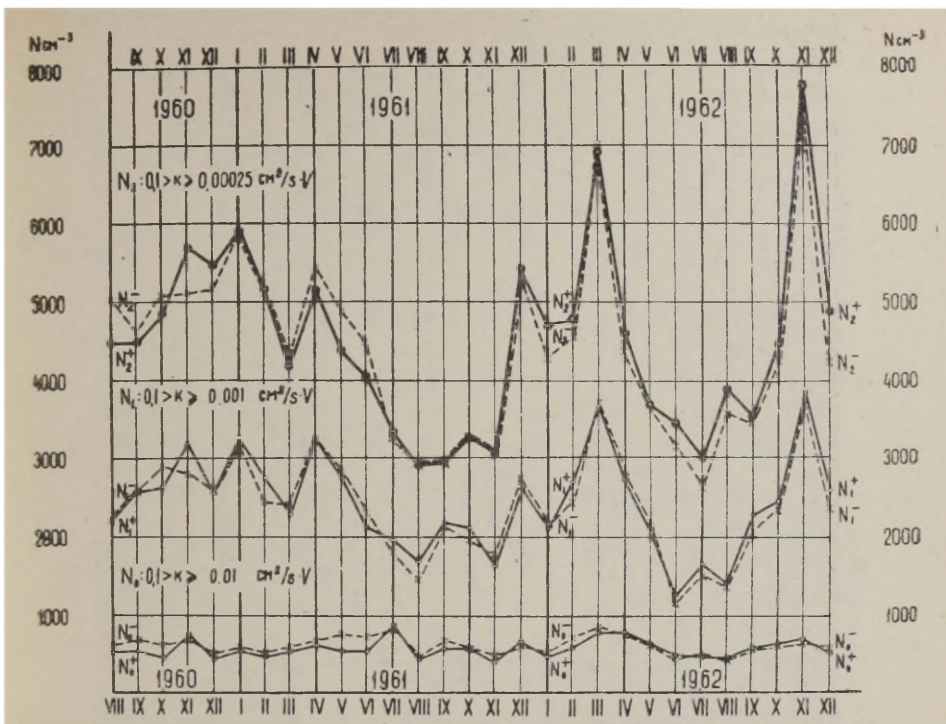


Рис. 3. Годовой ход среднемесячных концентраций ионов, измеренных с помощью конденсатора тяжелых ионов в интервале подвижностей  $0,1 > k \geq \geq 0,01 \text{ см}^2/\text{сек} \cdot \text{в}$  ( $N_0$  — средние ионы),  $0,1 > k \geq 0,001 \text{ см}^2/\text{сек} \cdot \text{в}$  ( $N_1$  — полутяжелые и средние ионы) и  $0,1 > k \geq 0,00025 \text{ см}^2/\text{сек} \cdot \text{в}$  ( $N_2$  — тяжелые ионы) за период VIII 1960—XII 1962. Рисунок получен на основании 11 085 измерений.

А для ионов группы N (табл. 5), указывают на отсутствие вековых изменений.

В суточном ходе концентраций легких ионов ( $p_2$ ) и молионов ( $p_1$ ) по данным за 1960—1962 гг. (рис. 5) главный максимум наблюдается обычно ночью около 1 часа<sup>1</sup>, а главный минимум — утром в 7 часов; побочный максимум приходится на 13 часов, а побочный минимум — на 19 часов. В течение теплого полугодия полуденный побочный максимум выражен более резко и становится иногда даже основным. Суточный ход концентраций тяжелых ионов ( $N_2$ ) и полутяжелых и средних ионов ( $N_1$ ) в целом противоположен суточному ходу концентраций легких ионов ( $p_2$ ) и молионов ( $p_1$ ). Главный минимум (групп  $N_1$  и  $N_2$ ) как в теплое, так и в холодное время года приходится на послеполуночные часы (1—4), а главный максимум, особенно высокий в период отопительного сезона, на 7 часов. Имеется также побоч-

<sup>1</sup> По тартускому местному времени.

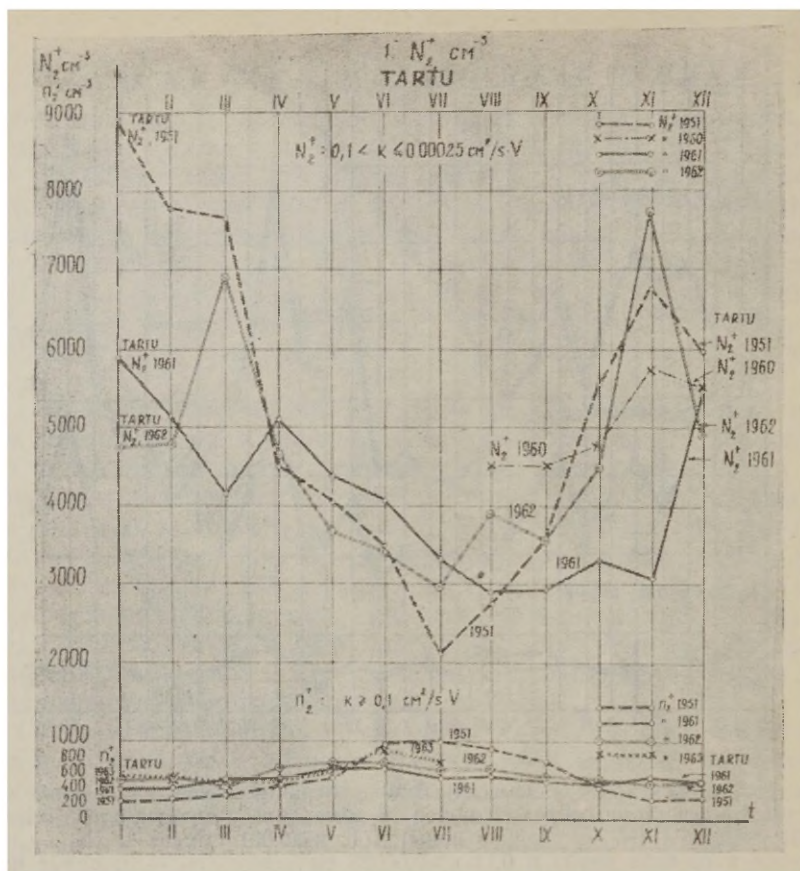


Рис. 4. Ход концентраций положительных тяжелых ионов ( $N_2$ ) и легких ионов ( $n_2$ ) в 1951 г. и за период VIII 1960—VII 1963 г.

ный минимум в 13 часов (зимой в 16 часов) и побочный максимум около 19 часов.

Так как по материалам наблюдений 1960—1962 гг. в 1 час ночи средняя концентрация тяжелых ионов почти одинакова для теплого и холодного полугодий, можно считать, что эта величина характеризует естественный уровень ионизации воздуха. Главный утренний минимум концентрации легких ионов и максимум концентрации тяжелых ионов совпадают по времени с началом топок печей, работы фабрик и появлением движения в городе. В это время метеорологические условия, вследствие развития предутренней инверсии, способствуют накоплению ядер в приземном слое воздуха. Побочный дневной максимум  $n_2$  и минимум  $N_2$  обусловлены выносом ядер в более высокие слои атмос-



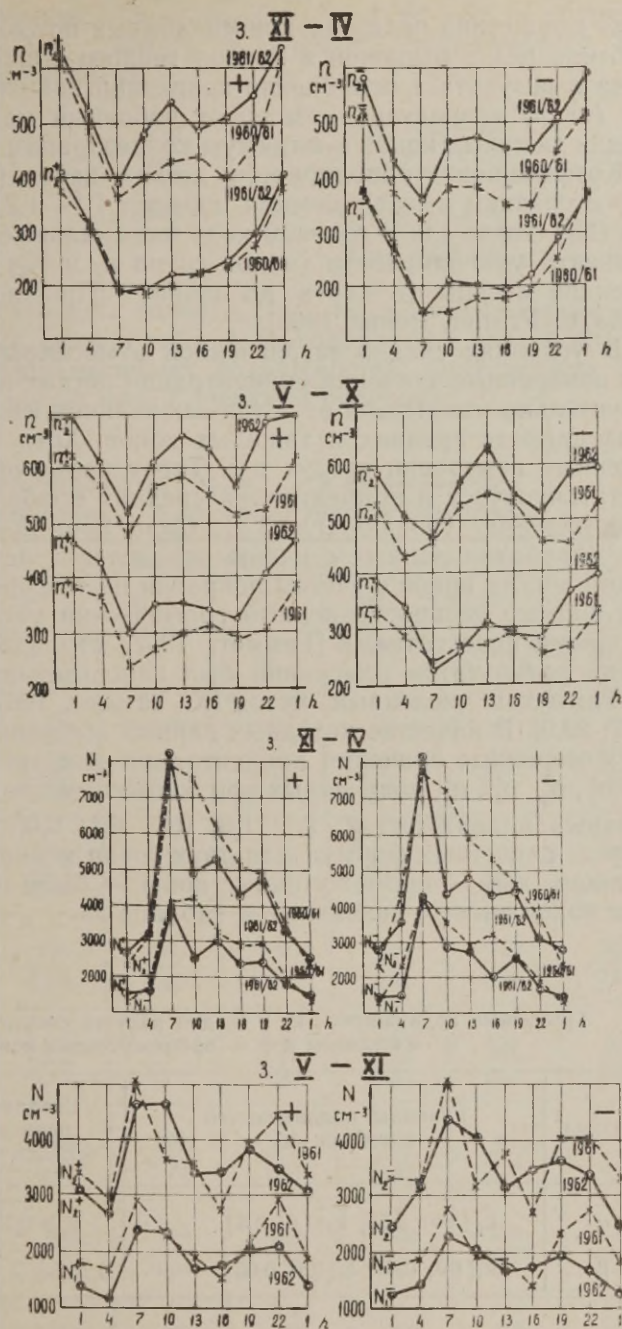


Рис. 5. Суточный ход (по тартускому местному времени) легких ионов ( $n_2$ ), молионов ( $n_1$ ), тяжелых ионов ( $N_2$ ), средних и полутяжелых ионов ( $N_1$ ) в холодном (XI—IV) и теплом (V—X) полугодиях за период XI 1960—X 1962.

феры вследствие развития конвекционных потоков; этот эффект особенно резко выражен в период теплого полугодия. Вечером, когда в результате ослабления конвекции концентрация аэрозолей (ядер) возрастает, возникают побочный максимум концентраций тяжелых ионов и минимум концентрации легких ионов.

Коэффициент униполярности легких ионов ( $n_2$ ) и молионов ( $n_1$ ) в среднем имеет значения порядка 1,1—1,2, а тяжелых ионов ( $N_2$ ) около 1,0. В годовом ходе минимальные значения коэффициента униполярности (ионов групп  $n_2$  и  $N_2$ ) наблюдались в весенние месяцы (с марта до июня) [Прюллер и соавторы, 1966а, б; Prüller, Reinet 1966].

В условиях сильно загрязненной атмосферы больших городов измеренные значения концентрации легких ионов ( $n_2$ ) могут значительно отличаться от истинных величин из-за влияния тока проводимости средних и тяжелых ионов. Хотя по данным проведенных измерений воздух в г. Тарту большую часть времени достаточно чист и концентрация средних ионов близка летом к естественному уровню (гл. 3.3), была проведена дополнительная обработка данных с целью определения истинной концентрации легких ионов с учетом поправки на ток проводимости. Так как широко распространенный графический метод обладает некоторыми недостатками [Таммет, 1967, стр. 146], то для обработки результатов измерений был использован разработанный Х. Тамметом численный метод [Х. Таммет, 1967. формулы 4.3; 29.7; 29.9]. В качестве исходных данных выбраны непосредственно измеренные значения концентрации для пяти групп ионов  $n_1^*$ ,  $n_2^*$ ,  $n_3^*$ ,  $n_4^*$ ,  $n_5^*$ , полученных при соответственно следующих предельных подвижностях: 2,5; 1,0; 0,5; 0,1; 0,05 см<sup>2</sup>/сек · в. При выводе расчетных формул для двух групп ионного спектра:  $\alpha$  — молионы и  $\beta$  — промежуточные ионы — были выбраны граничные подвижности, указанные в таблице 2.

Таблица 2

Граничные подвижности  $\bar{k}_1$  и  $\bar{k}_2$  для расчета спектральных групп  
 $\alpha$  — молионы и  $\beta$  — промежуточные ионы

Группа	Границы подвижностей (см <sup>2</sup> /сек в)	Средние границы (см <sup>2</sup> /сек · в)	Примерно соответствует группе
$\alpha$	$\bar{k}_1 [\infty; 2,5]; \bar{k}_2 [1,0; 0,5]$	$k \geq 0,75$	$n_1$
$\beta$	$\bar{k}_1 [1,0; 0,5]; \bar{k}_2 [0,1; 0,05]$	$0,75 > k \geq 0,075$	$n_2 - n_1$

При этих условиях получаются следующие формулы для расчета концентраций ионов  $\alpha$  — группы (молионы)  $n_\alpha$  (см<sup>-3</sup>),  $\beta$  —

группы (промежуточные ионы)  $n_\beta$  ( $\text{см}^{-3}$ ) и  $(\alpha + \beta)$  — группы (легкие ионы)  $n_{\alpha + \beta}$  ( $\text{см}^{-3}$ ) и средних подвижностей  $k_\alpha$  ( $\text{см}^2/\text{сек} \cdot \text{в}$ ) и  $k_\beta$  ( $\text{см}^2/\text{сек} \cdot \text{в}$ )

$$n_\alpha = 2n_2^* - n_3^* \quad (1)$$

$$n_\beta = 2(n_4^- - n_2^*) + n_3^* - n_5^* \quad (2)$$

$$n_{\alpha + \beta} = n_\alpha + n_\beta \quad (2a)$$

$$k_\alpha = \frac{2,5n_1^* + n_2^* - n_3}{2n_2^* - n_3^*} \quad (3)$$

$$k_\beta = \frac{n_3^* - n_2^* - 0,1(n_5 - n_4)}{2(n_4^* - n_2^*) + n_3^* - n_5^*} \quad (4)$$

Средние концентрации ионов  $n_\alpha$ ,  $n_\beta$ ,  $n_{\alpha + \beta}$ , вычисленные по формулам 1, 2 и 2a, даны в табл. 3, их годовой ход дан на рис. 6 и годовой ход среднемесячных подвижностей, вычисленных по формулам 3 и 4, дан на рис. 7 (верхний рисунок)

Таблица 3

Концентрации ионов  $n_\alpha$ ,  $n_\beta$ ,  $n_{\alpha + \beta}$  и их отношения к концентрации ионов  $n_1$ ,  $n_2$ ,  $n_2 - n_1$  по годам и полугодиям

Годы	Концентрации ( $\text{см}^{-3}$ ) и отношения					
	$n_\alpha^+$	$n_\alpha^-$	$n_\beta^+$	$n_\beta^-$	$n_\alpha^+ + n_\beta^+$	$n_\alpha^- + n_\beta^-$
	$\frac{n_\alpha^+}{n_1^+}$	$\frac{n_\alpha^-}{n_1^-}$	$\frac{n_\beta^+}{n_2^+ - n_1^+}$	$\frac{n_\beta^-}{n_2^- - n_1^-}$	$\frac{n_\alpha^+ + n_\beta^+}{n_2^+}$	$\frac{n_\alpha^- + n_\beta^-}{n_2^-}$
1961	$\frac{190}{0,66}$	$\frac{190}{0,76}$	$\frac{240}{1,04}$	$\frac{180}{0,86}$	$\frac{430}{0,83}$	$\frac{370}{0,80}$
1962	$\frac{220}{0,73}$	$\frac{200}{0,77}$	$\frac{240}{0,92}$	$\frac{180}{0,75}$	$\frac{460}{0,82}$	$\frac{380}{0,76}$
1960/61 хол. п/г	$\frac{170}{0,68}$	$\frac{180}{0,82}$	$\frac{190}{0,95}$	$\frac{140}{0,82}$	$\frac{360}{0,80}$	$\frac{320}{0,82}$
1961/62 хол. п/г	$\frac{180}{0,69}$	$\frac{190}{0,79}$	$\frac{240}{0,92}$	$\frac{180}{0,82}$	$\frac{420}{0,81}$	$\frac{370}{0,80}$
1961 тепл. п/г	$\frac{200}{0,65}$	$\frac{200}{0,74}$	$\frac{250}{1,04}$	$\frac{200}{0,87}$	$\frac{450}{0,82}$	$\frac{400}{0,80}$
1962 тепл. п/г	$\frac{280}{0,78}$	$\frac{240}{0,80}$	$\frac{260}{1,00}$	$\frac{190}{0,79}$	$\frac{540}{0,87}$	$\frac{430}{0,80}$
Среднее за 1961—1962	$\frac{205}{0,70}$	$\frac{195}{0,76}$	$\frac{240}{0,98}$	$\frac{180}{0,80}$	$\frac{445}{0,82}$	$\frac{375}{0,78}$

Годовой ход концентрации молионов  $n_a^+$ ,  $n_a^-$  и легких ионов  $n_{a+\beta}^+$ ,  $n_{a+\beta}^-$  почти точно соответствует ходу непосредственно измеренной концентрации молионов ( $n_1$ ) и легких ионов ( $n_2$ ). Ко-

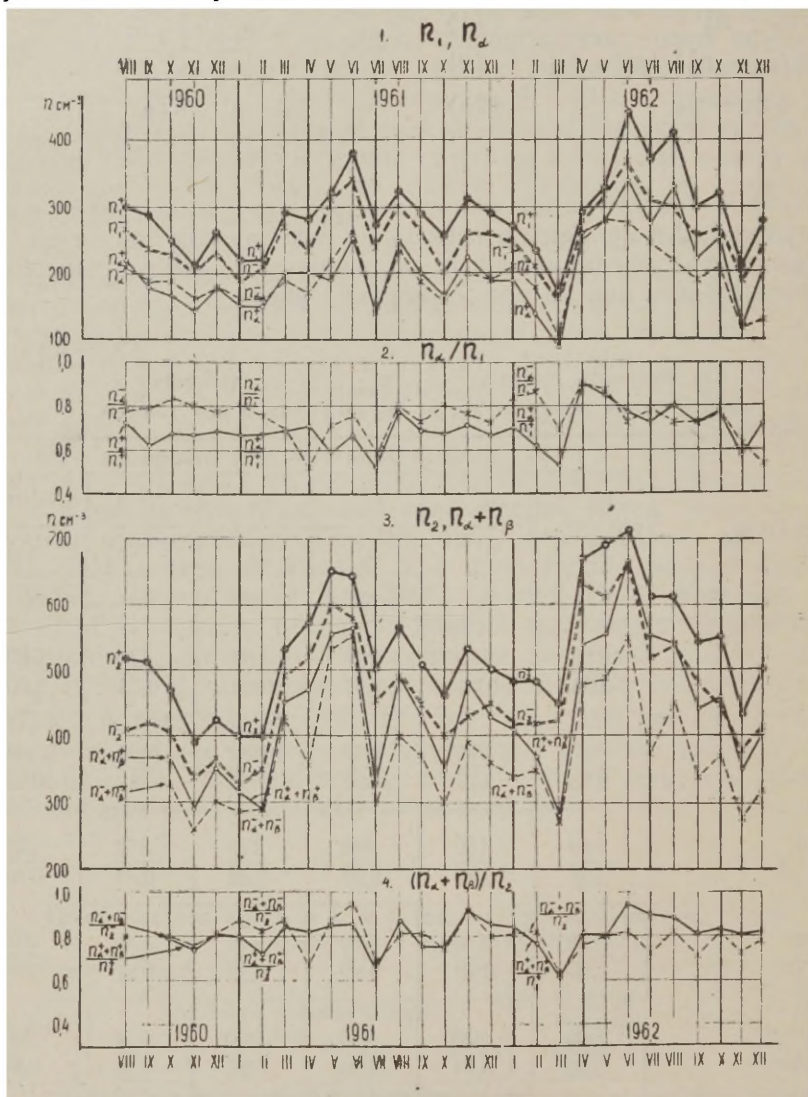


Рис. 6. Годовой ход с VIII 1960 по XII 1962 г. среднemesячных концентраций молионов  $n_1$  и относящиеся к их спектральной  $\alpha$  группе концентрации  $n_a$ , легких ионов  $n_2$  и относящиеся к их спектральной  $\alpha+\beta$  группе концентрации  $n_{a+\beta}$  и их от-

ношения  $\frac{n_a^+}{n_1^+}$ ,  $\frac{n_a^-}{n_1^-}$ ,  $\frac{n_a^+ + n_{a+\beta}^+}{n_2^+}$  и  $\frac{n_a^- + n_{a+\beta}^-}{n_2^-}$ .

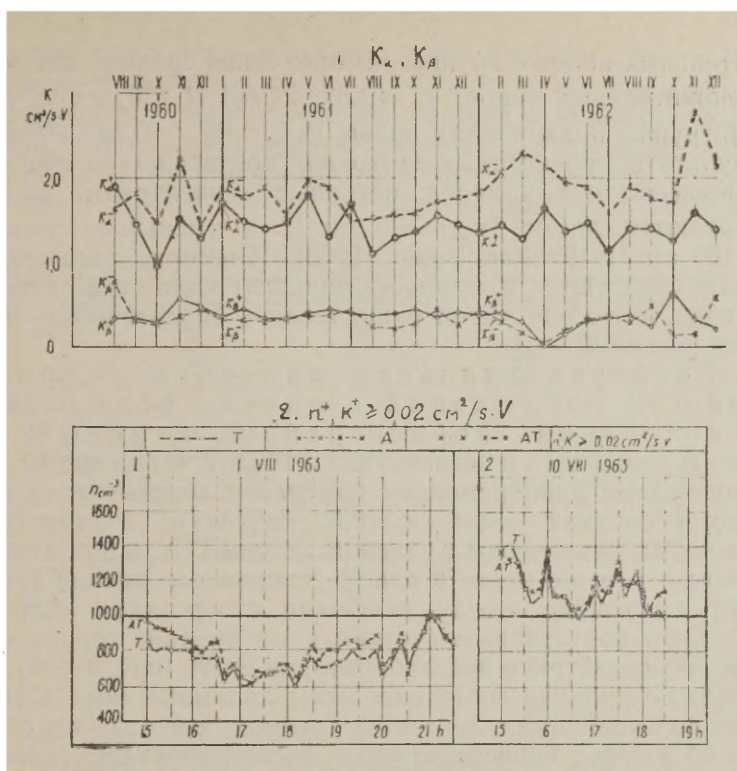


Рис. 7. Верхний рисунок. Годовой ход с VIII 1960 по XII 1962 г. среднемесячных подвижностей спектральной группы  $\alpha$  — молионов  $k_{\alpha}^{+}$ ,  $k_{\alpha}^{-}$  и группы  $\beta$  — промежуточных ионов  $k_{\beta}^{+}$  и  $k_{\beta}^{-}$ .

Нижний рисунок. Десятиминутные средние концентрации положительных средних ионов ( $k \geq 0,02$  см²/сек·в), измеренные двумя счетчиками с самописцами в главном здании ТГУ. Кривая Т — измерения стационарным и АТ — измерения портативным счетчиком (расстояния между входными отверстиями счетчиков  $d=20$  см).

личественные расхождения между первоначальными и исправленными величинами сравнительно малы: истинные среднегодовые концентрации молионов  $n_{\alpha}$  на 20—30% ниже концентрации  $n_1$ , концентрации промежуточных ионов  $n_{\beta}$  уменьшаются в среднем до 15% по сравнению с измеренной концентрацией промежуточных ионов  $n_2$ — $n_1$ , истинная концентрация легких ионов  $n_{\alpha+\beta}$  меньше  $n_2$  на 20% (рис. 6, табл. 3). Поправки такого порядка можно считать типичными в случае измерения ионизации аспирационными счетчиками в небольших городах, где естественный уровень не нарушен. По данным 1961 и 1962 гг. среднегодовые подвижности

отрицательных ионов  $\alpha$ -группы заметно выше средней подвижности положительных ионов:  $k_{\alpha}^{-}=1,87$ ;  $k_{\alpha}^{+}=1,41$  см<sup>2</sup>/сек·в, а для ионов  $\beta$ -группы подвижности равны ( $k_{\beta}^{-}=k_{\beta}^{+}=0,35$  см<sup>2</sup>/сек в).

Результаты проведенных измерений подтверждают существование промежуточных ионов, истинные концентрации которых увеличиваются летом ( $n_{\beta} \approx 300$  см<sup>-3</sup>) и уменьшаются зимой ( $n_{\beta} \approx 180$  см<sup>-3</sup>) [Prüller, Reinet, 1966]. Имеются указания, что эти ионы образуются в особенно большом количестве в теплое время года и что они имеют существенное биологическое значение [Рейнет, 1958].

3.3. Экспериментальная проверка репрезентативности наблюдений и оценка возмущенности колебаний концентрации атмосферных ионов. В конце лета и осенью 1962 и 1963 гг. в течение 16 суток были проведены одновременные измерения концентрации положительных средних ионов ( $k_0=0,02$  см<sup>2</sup>/сек в) стационарным счетчиком, установленным в главном здании ТГУ, и портативным счетчиком в том же месте в одном воздушном канале (рис. 7, нижний; расстояние между входными отверстиями счетчиков 20 см), либо портативным счетчиком на окраине города в павильоне Актинометрической лаборатории ИФА (рис. 8—11). Оба портативных счетчика были снабжены динамическими электрометрами и самописцами, на лентах которых, двигавшихся со скоростью 60 мм/час, непосредственно регистрировалась концентрация ионов [в единицах (э.з.)·см<sup>-3</sup>]. С полученных кривых снимались усредненные за 10 минут концентрации ионов  $n$ . Возмущенность нормального хода характеризовалась по Израэлю [Israel, 1961] относительной амплитудой колебаний за часовой промежуток

$$n_a = \frac{n_{\max} - n_{\min}}{n_{\text{ср. суточн}}} \cdot 100\%$$

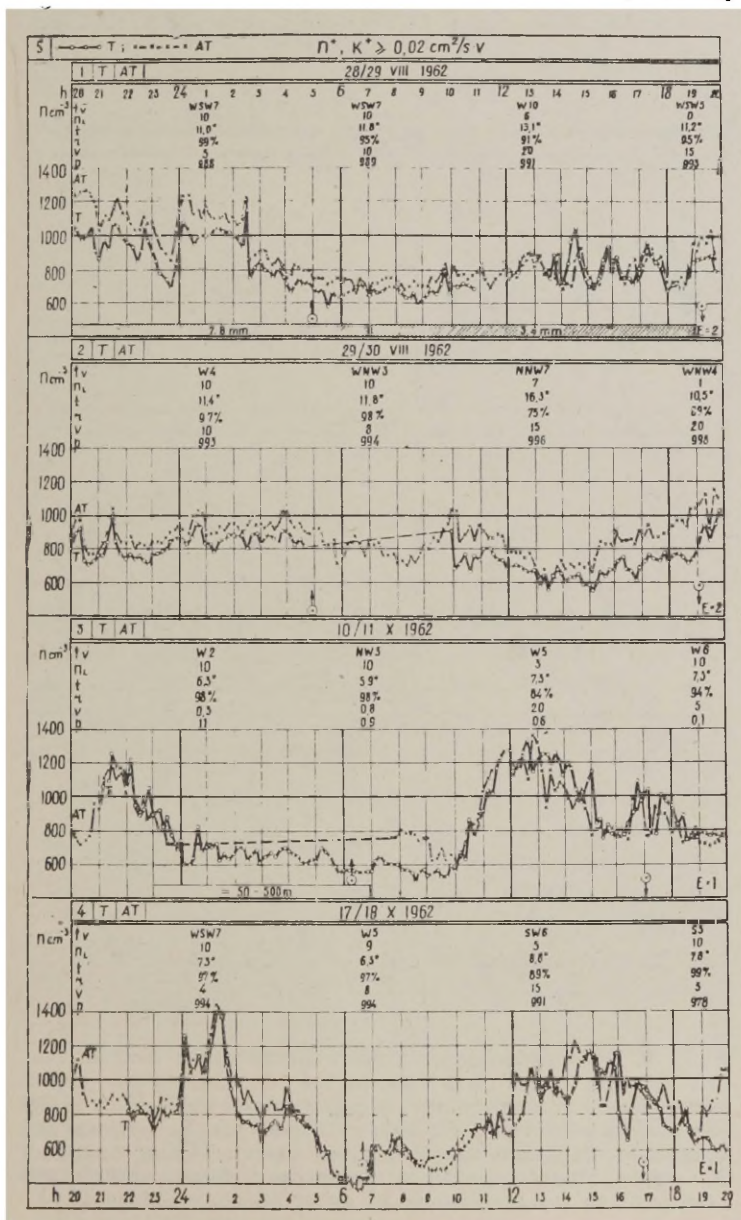
и квазичастотой  $f$ , равной числу точек поворота (локальных экстремумов) усредненной кривой за 1 час.

---

Рис. 8. Десятиминутные средние концентрации положительных средних ионов ( $k \geq 0,02$  см<sup>2</sup>/сек·в), измеренные двумя счетчиками с динамическими электрометрами 28/29 VIII, 29/30 VIII, 10/11 X и 17/18 X 1962 г. в главном здании ТГУ. Обозначения кривых Т и АТ даны в тексте к рис. 7. Метеорологические данные в 1, 7, 13 и 19 часов (по местному времени) даны в порядке (сверху вниз):  $v$  — направление и скорость ветра (м/сек);  $n_L$  — нижняя облачность (0—10 баллов);  $t$  — температура (°C);  $g$  — относительная влажность (%);  $V$  — видимость (км);  $p$  — атмосферное давление (мб);  $\oint$  — моменты восхода и захода солнца;  $\text{штрихованная}$  — осадки (мм);  $S_c$  — интенсивность прямой солнечной радиации за час на перпендикулярную площадь (кал/см<sup>2</sup>·час);  $\equiv$  — туман;  $E$  — состояние почвы (0 — сухая, 1, 2 — мокрая, 3 и больше — замерзшая и т. д.).



Кривые, полученные в главном здании ТГУ в одном воздушном канале с помощью двух различных приборов, оказались идентичными по среднему уровню, частоте и амплитуде колебаний. При резком уменьшении облачности и увеличении видимости (и наоборот) обе кривые синхронно повышаются и понижаются (рис. 8, 10/11 X и 17/18 X 1962 г. на  $600 \text{ см}^{-3}$ ). Следует по-







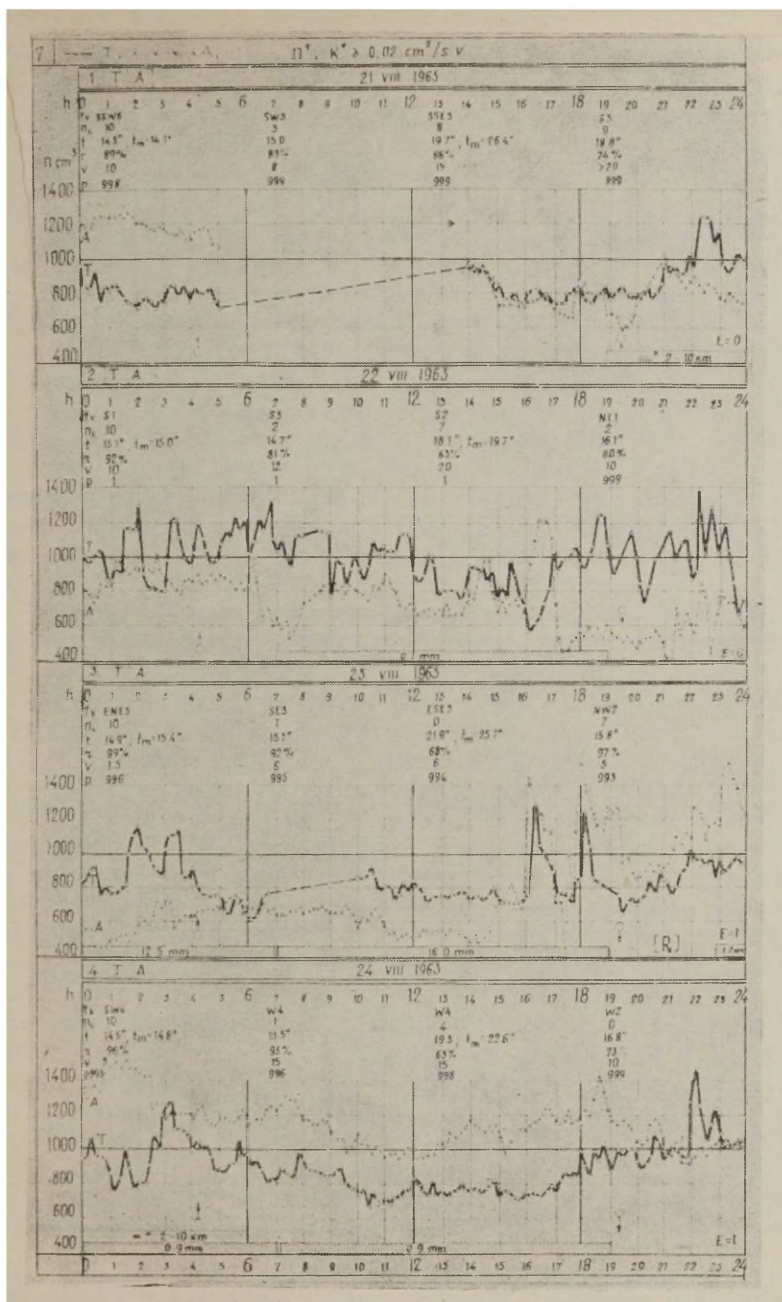


Рис. 10. Десятиминутные средние концентрации положительных средних ионов ( $k \geq 0,02 \text{ cm}^2/\text{сек} \cdot \text{в}$ ), измеренные двумя счетчиками с динамическими электрометрами 21, 22, 23 и 24 VIII 1963 г. Обозначения кривых Т и А даны в тексте к рис. 9.

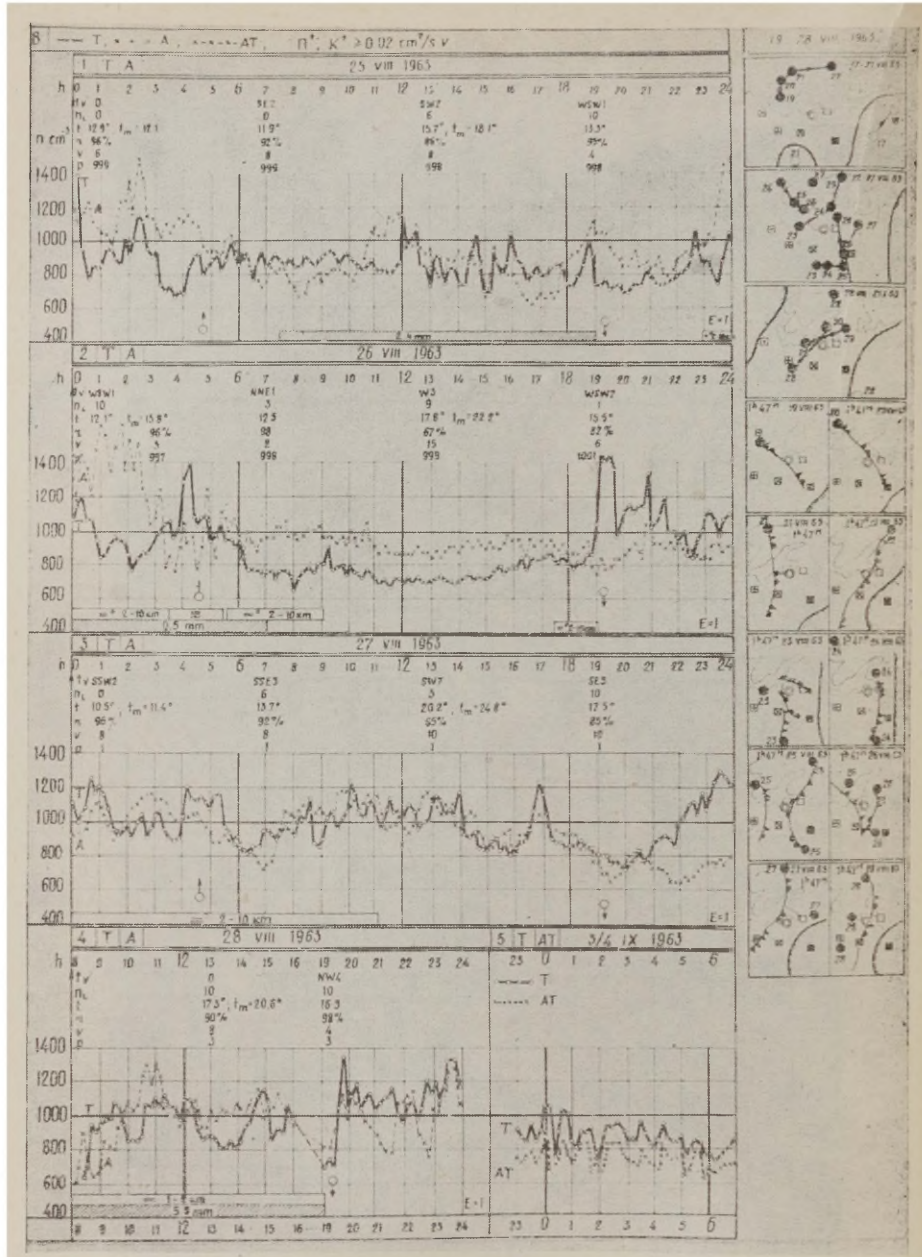


Рис. 11. Десятиминутные средние концентрации положительных средних ионов ( $K \geq 0.02 \text{ см}^2/\text{сек} \cdot \text{в}$ ), измеренные двумя счетчиками с динамическими электрометрами 25, 26, 27 и 28 VIII 1963 г. Обозначения кривых Т, А и АТ даны в тексте к рис. 7 и 9. Направо 19—28 VIII 1963 г. карта холодного (острые зубцы), теплового (круглые зубцы) фронта и фронта окклюзии (оба зубца) вокруг Тарту (два концентр. круга) в 1 час. 47 мин. местного или в 3 часа Московского времени.

лагать, что в нижних слоях атмосферы ионы распределены неравномерно, т. е. концентрации ионов в равных микрообъемах воздуха не равны. Микрообъемы воздуха с относительно высокими концентрациями ионов распределены более или менее равномерно в среде с меньшей концентрацией ионов [Sheppard, 1932].

Одновременные измерения двумя счетчиками, установленными в главном здании ТГУ и на окраине города, на расстоянии 3,5 км в павильоне Актинометрической лаборатории ИФА, проводились в течение 10 дней с 19 по 28 августа 1963 г. (рис. 9—11). В среднем за все десять суток в обоих пунктах получились одинаковые значения  $n=950 \text{ см}^{-3}$ , причем в течение 7 дней были достаточно близки и средние значения по отдельным суткам (разница не превышала  $110 \text{ см}^{-3}$ ). Очевидно, при достаточно большом усреднении влияние локальных неоднородностей практически полностью компенсируется. Летом параметры ионизации и чистоты воздуха у главного здания ТГУ (вблизи парка Тоомеяги) и за городом среди полей примерно совпадают.

При одновременных измерениях ионизации в главном здании ТГУ и в загородной Актинометрической лаборатории наблюдались очень сходные колебания (с относительными амплитудами  $n_a=0,1-0,5$  и квазичастотами  $2-4 \text{ час}^{-1}$ ) при прохождении фронтов, вызывающих резкое изменение облачности (рис. 9 до 11) [Prüller, Reinet, 1966]. В отдельных случаях наблюдались синхронные колебания с очень большой амплитудой, например 23 VIII 1963 г. (рис. 10) при прохождении холодного фронта с развитой грозовой облачностью. Эти резкие колебания ионизации вызваны в первую очередь большими изменениями напряженности электрического поля. Примерно одинаковые колебания отмечались также в двух пунктах за целые сутки, включая время прохождения теплого фронта и фронта окклюзии 25 и 27 VIII 1963 г. (рис. 11). Сходство кривых обусловлено тем, что в это время общие факторы (облачность, фронты и т. д.) сильнее влияют на ионизацию атмосферы, чем локальные возмущения. Однако локальные возмущения как в городе, так и за городом нередко приводят к расхождениям по амплитуде, частоте и среднему уровню колебаний (рис. 10, 24 VIII и рис. 11, 26 VIII 1963). Действие облачности проявляется как за счет собственных электрических полей облаков, так и в результате изменения напряженности электрического поля Земли [Прюллер и соавторы, 1966 б; Prüller, Reinet, 1966].

Колебания концентрации ионов, связанные с турбулентным перемешиванием [Таммет, 1967], имеют минимум ночью. По Х. Израэлю [Israel, 1958 а, б, 1959, 1961] возмущения в ходе атмосферно-электрических элементов ночью слабее, чем днем. При усреднении данных наших измерений по всем дням полу-

чился обратный суточный ход возмущенности с максимумом ночью и минимумом днем. Этот результат не противоречит выводам Израэля, относящимся к дням без осадков и фронтов.

На основании полученных данных можно сделать вывод, что результаты измерений в главном здании ТГУ в среднем вполне репрезентативны и характеризуют естественный уровень ионизации и ее регулярные колебания в течение теплого полугодия. В холодное время года загрязнения от работы отопительных систем значительно нарушают естественные условия. Зимой естественные условия в городе характеризуются приближенно данными измерений в 1 час ночи.

3.4. Зависимость концентрации ионов от метеорологических элементов. Для исследования зависимости концентрации ионов от метеорологических элементов применялся в основном аналитический метод расчета коэффициентов корреляции  $r$  (на электронно-вычислительной машине «Урал-4») и частично прием графического сопоставления кривых (рис. 14 до 17). В таблице 4 даны средние арифметические значения коэффициентов корреляции  $r$  для ионов обоих знаков (при  $r > r_0$ , где  $r_0 = 0,11$  порог достоверности), вычисленные отдельно для двух теплых и двух холодных полугодий. Коэффициенты линейной корреляции получались всегда меньше неиспользуемых здесь коэффициентов нелинейной корреляции (в отдельных случаях в несколько раз). Кроме того, коэффициенты корреляции, связывающие концентрацию ионов с метеорологическими элементами, значительно ниже коэффициентов корреляции как между отдельными метеорологическими элементами (например, температурой и абсолютной влажностью,  $r = 0,67 \div 0,71$ ), так и между концентрацией ионов отдельных групп (например, положительными и отрицательными легкими ионами,  $r = 0,74 \div 0,82$ ). Корреляционный анализ часто применяется в геофизике [Брукс-Каризерс, 1963; Mc. Donald, 1960], несмотря на малые коэффициенты корреляции порядка 0,15 до 0,3 [Davis, 1960].

После усреднения данных о концентрации ионов обоих знаков по двум холодным и двум теплым полугодиям в настоящей работе были получены значения 88 коэффициентов корреляции, (рис. 12), из которых 45 равны или выше порога достоверности  $r_0 = 0,11$  (табл. 4). Порог  $r_0 = 0,11$  вычислен для групп из  $n = 300$  измерений концентрации ионов (каждый из 24 малых рисунков на рис. 14 до 17) при вероятности  $p = 0,05$  нульгипотезы Стью-

---

Рис. 12. При увеличении ( $\uparrow$ ) метеорологического элемента ( $t, p, v, e, r, p_L, V, s_{mm}, \equiv, S$  и  $E$ ) концентрация группы ионов ( $n_1, n_2, N_1$  и  $N_2$ ) либо увеличивается ( $\uparrow$ ), либо уменьшается ( $\downarrow$ ). Числа над или под стрелками — коэффициенты корреляции  $r$  холодного или теплого полугодия.





дента. До этого, кроме 48 коэффициентов, вычисленных по данным наблюдений в г. Тарту в 1951 г., имелась всего 31 качественная ссылка о характере измерения концентрации ионов в зависимости от некоторых метеорологических элементов, причем

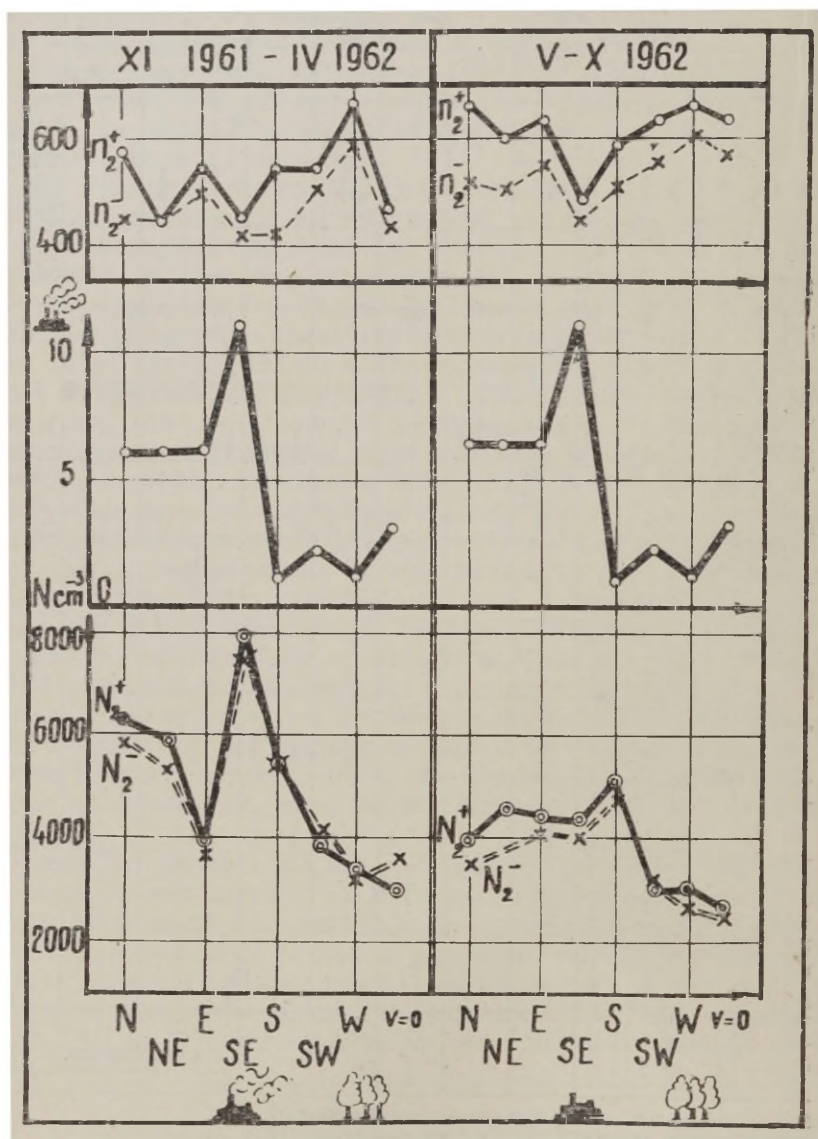


Рис. 13. Ход концентрации легких ( $n_2$ ) и тяжелых ( $N_2$ ) ионов при направлениях ветра с разных сторон света в холодном и теплом полугодиях 1962 г. и число труб центрального отопления по сторонам света с радиусом  $R=420$  м вокруг главного здания ТГУ.

эти характеристики не были детализированы по сезонам (полугодиям) и не охватывали всех связей.

С целью выяснения влияния направления ветра, связь с которым определяется локальными особенностями, была сделана дополнительная обработка данных 1960—1962 гг. (рис. 13). При западных ветрах, дующих со стороны парка Тоомеяги, наблюдаются высокие концентрации легких ионов ( $p_2, p_1$ ) и низкие концентрации тяжелых ионов ( $N_2, N_1$ ). Наоборот, юго-восточные ветры, приносящие воздух из густонаселенного района с наибольшим количеством источников дыма (11 труб центрального отопления на расстоянии до 420 м от главного здания ТГУ), вызывают понижение ( $p_2, p_1$ ) и повышение ( $N_2, N_1$ ). Однако при любом направлении ветра корреляционные связи между концентрацией ионов и другими метеорологическими элементами не претерпевают заметных изменений. Этот вывод основан на результатах раздельной обработки данных по 8 румбам ветра и штилю, при которой концентрация легких ионов ( $p_2$ ) сопоставлялась с семью метеорологическими элементами ( $t, v, e, r, V = \bar{V}, S_c$ ), а концентрация тяжелых ионов ( $N_2$ ) — с двумя метеорологическими элементами ( $e, r$ )

Влияние метеорологических элементов на концентрацию ионов ( $p_1, p_2, N_1$  и  $N_2$ ) наглядно видно из рис. 14 до 17 где даны для положительных ионов соответствующего полугодия коэффициенты корреляции ( $r$ ) и прямые регрессии при  $r > r_0$ , где  $r_0 = 0,11$  — порог достоверности.

Связи между концентрациями ионов и метеорологическими элементами в большинстве косвенные. Концентрация легких ионов ( $p_2, p_1$ ) зависит: 1) от факторов, влияющих на интенсивность ионизации, например, условия выхода радона  $Rn$  [Стыро, 1959] из почвы (ветер, увлажнение и замерзание почвы и т. д.); 2) от концентрации аэрозолей (тяжелых ионов  $N_2$ ) в атмосфере, с которой ход легких ионов противоположен.

По данным наших расчетов (табл. 4 и рис. 14 до 17) концентрация легких ионов ( $p_2$ ) изменяется в одну сторону ( $r > 0$ ) с видимостью (зимой  $r = 0,32$ , летом  $r = 0,35$ ) интенсивностью прямой солнечной радиации ( $r = 0,20$  и  $0,22$ ), температурой (зимой  $r = 0,13$ ), причем сами эти элементы положительно коррелируют между собой ( $r = 0,21 \div 0,32$ ), и, наконец, со скоростью ветра (зимой  $r = 0,10$ , летом  $r = 0,17$ )

Обратное соотношение ( $r < 0$ ) наблюдалось между концентрацией легких ионов ( $p_2$ ) и целой группой метеорологических элементов, связанных между собой положительной корреляцией (с коэффициентами  $r = 0,10 \div 0,44$ ) относительной влажностью, интенсивностью тумана, нижней облачностью (зимой), упругостью водяного пара (летом) и показателем состояния почвы. Для различных элементов значения  $r$  колеблются от  $-0,3$  (относитель-

**Коэффициенты корреляции между концентрациями  
ионов обоих знаков для групп  $n_2^\pm$ ,  $n_1^\pm$ ,  $N_2^\pm$ ,  $N_1^\pm$  и метеорологическими элементами**

(По данным наблюдений с XI 1960 по X 1962 гг.)

№№ п/п	Метеорологический элемент	Холодное полугодие				Теплое полугодие			
		Легкие		Тяжелые		Легкие		Тяжелые	
		$n_2^\pm$	$n_1^\pm$	$N_2^\pm$	$N_1^\pm$	$n_2^\pm$	$n_1^\pm$	$N_2^\pm$	$N_1^\pm$
1	Температура (t)	0,13	(0,06) <sup>1</sup>	-0,19	-0,23	—	—	-0,12	-0,17
2	Атмосферное давление (p)	— <sup>2</sup>	— <sup>2</sup>	0,14	0,13	(-0,09)	-0,21	0,21	0,24
3	Скорость ветра (v)	(0,10)	0,12	-0,29	-0,30	0,17	0,18	-0,27	-0,29
4	Упругость водяного пара (e)	—	—	-0,18	-0,23	-0,22	(0,04)	-0,17	-0,17
5	Относительная влажность (г)	-0,26	(0,05)	—	—	-0,28	(0,04)	—	—
6	Количество нижней облачности ( $n_L$ )	-0,12	(0,06)	-0,12	-0,15	—	—	-0,12	-0,13
7	Видимость (V)	0,32	(0,09)	—	—	0,35	0,20	(-0,09)	-0,13
8	Осадки ( $S_{mm}$ )	—	—	(-0,08)	(-0,09)	—	—	—	—
9	Интенсивность туманов ( $\equiv$ )	-0,20	(-0,04)	—	—	-0,28	-0,19	(0,10)	0,14
10	Интенсивность прямой солнечной радиации ( $S_c$ ) <sup>3</sup>	0,20	(-0,02)	—	—	0,22	(0,01)	—	—
11	Показатель состояния почвы (E)	-0,19	-0,11	0,14	0,15	-0,11	(-0,01)	-0,17	(-0,10)

<sup>1</sup> Коэффициент ниже порога достоверности  $r_0=0,11$  заключен в скобки.

<sup>2</sup> Оба коэффициента ниже порога достоверности  $r_0=0,11$ .

<sup>3</sup> На перпендикулярную лучам поверхность.



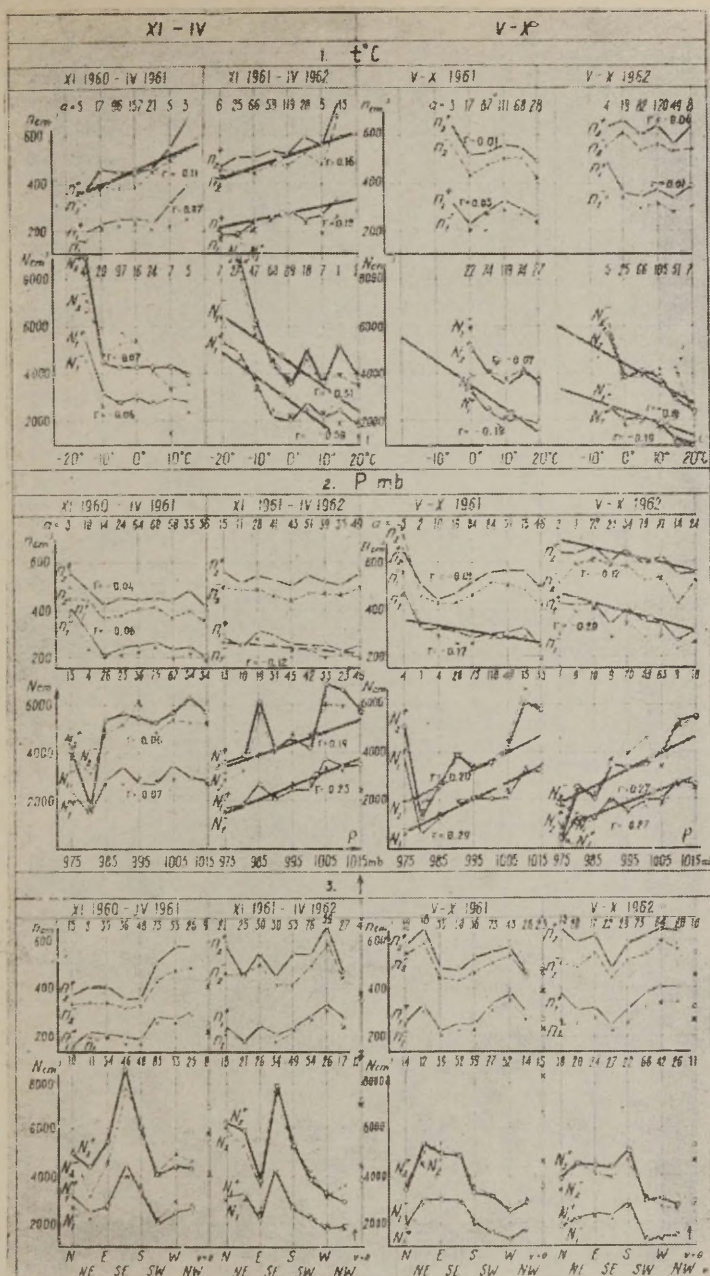


Рис. 14. Зависимость концентрации молионов ( $p_1$ ) легких ионов ( $p_2$ ), средних и полутяжелых ионов ( $N_1$ ) и тяжелых ионов ( $N_2$ ) от температуры ( $t$ ), атмосферного давления ( $p$ ) и направления ветра ( $\uparrow$ ) с XI 1960 по X 1962 гг. Для положительных ионов на рисунках даны коэффициенты корреляции ( $r$ ) и прямые регрессии при  $r > r_0$ , где  $r_0 = 0,11$  — порог достоверности.

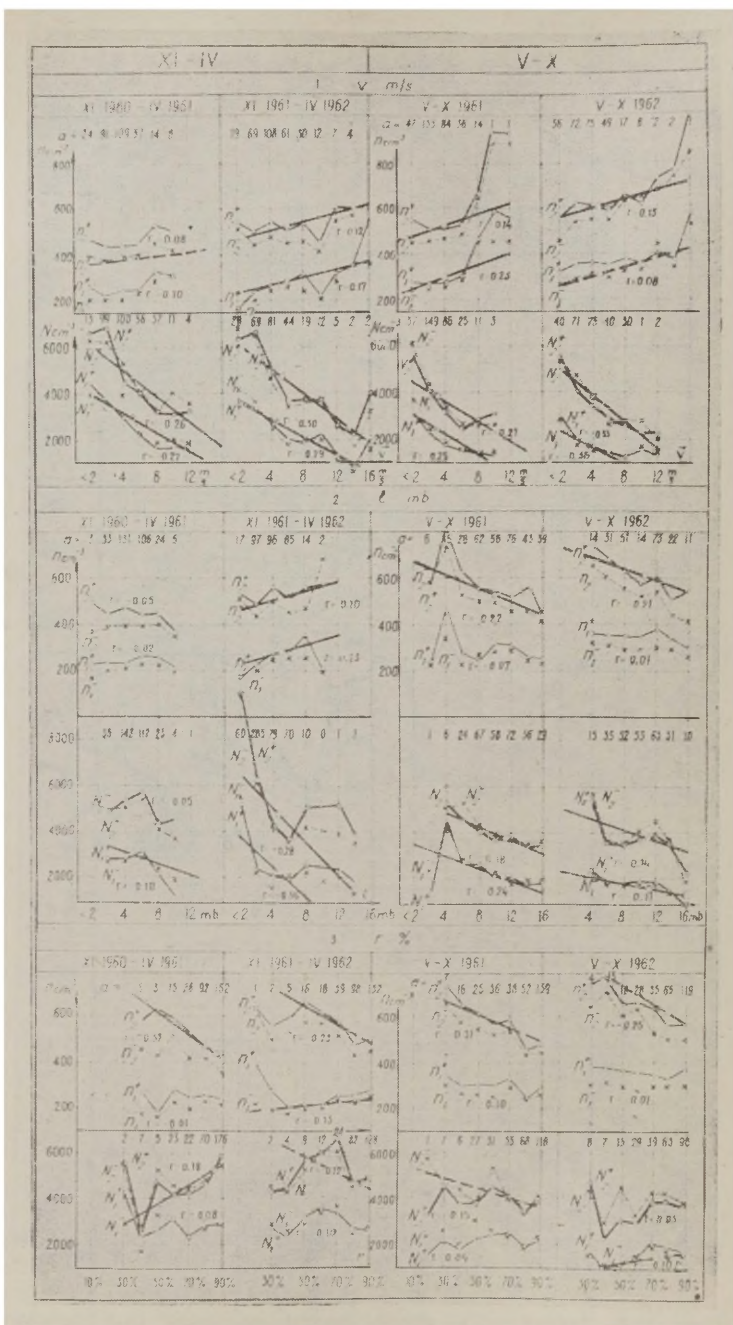


Рис. 15. Зависимость концентрации ионов от скорости ветра ( $v$ ), упругости водяного пара ( $e$ ) и от относительной влажности ( $r$ ) с XI 1960 по X 1962 гг.

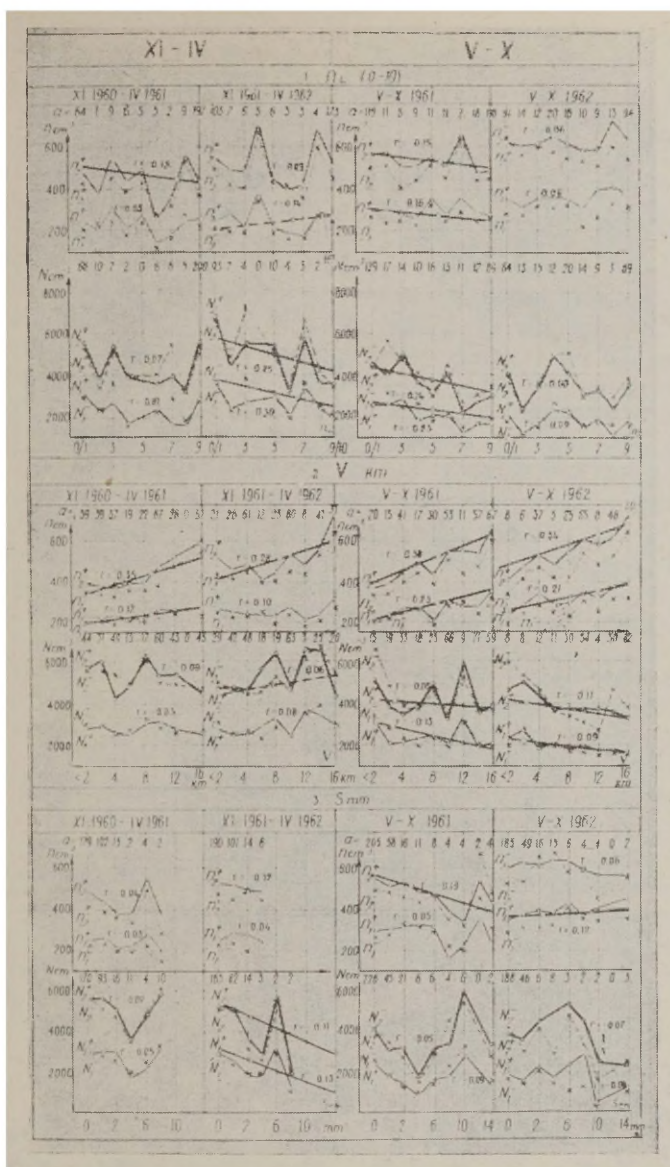


Рис. 16. Зависимость концентрации ионов от количества нижней облачности ( $p_L$ ), видимости ( $V$ ) и осадков ( $s_{mm}$ ) с XI 1960 по X 1962 гг.





ная влажность, зимой  $r = -0,26$ , летом  $r = -0,28$ ) до  $-0,1$  (облачность).

Концентрация тяжелых ионов ( $N_2$ ) изменяется одинаково ( $r > 0$ ) с некоторыми элементами: атмосферным давлением, интенсивностью тумана (летом), показателем состояния почвы (зимой), при среднем значении  $r$  порядка  $+0,15$ . Для большинства элементов: скорости ветра, упругости водяного пара, температуры, нижней облачности, показателя состояния почвы (летом), которые связаны между собой положительной корреляцией (обычно с низкими значениями порядка  $r = 0,04 \div 0,31$ , но для температуры и упругости водяного пара летом  $r = 0,67$ , зимой  $r = 0,71$ ), получается обратное соотношение, характеризующее отрицательными коэффициентами корреляции, лежащими в пределах от  $-0,3$  до  $-0,1$  (например, для скорости ветра зимой  $r = -0,29$ , летом  $r = -0,27$ , для нижней облачности летом  $r = -0,12$ ).

Реальность коэффициентов корреляции подтверждает факт, что метеорологические элементы, связанные между собой положительной корреляцией, коррелируют однонаправленно ( $r > 0$  или  $r < 0$ ) с концентрациями ионов. Вследствие низких абсолютных значений коэффициентов корреляции между концентрацией ионов ( $n, N$ ) и метеорологическими элементами, необходимо подробнее остановиться на вопросе об устойчивости полученных значений, от которых зависит реальная оценка значимости соответствующих связей. Корреляционные связи в г. Тарту несущественно изменились в течение 10 лет. При сравнении 80 комбинаций коэффициентов корреляции получается, что в 50% случаев разности коэффициентов в 1951 г. ( $r_1$ ) и 1960—1962 гг. ( $r$ ) подчиняются неравенству  $|r_1 - r| \leq 0,1$ , которое для определенности принято в качестве условия устойчивости коэффициентов корреляции. Среди остальных коэффициентов 36% от общего числа имеют попарно одинаковый знак, так что резкие расхождения встречаются только в 14% случаев [Прюллер и соавторы 1963а, 1966а, б; Prüller, Reinet, 1966].

При сравнении двух рядов, соответствующие члены которых могут отличаться по величине и по знаку, удобно пользоваться введенным автором количественным показателем, названным коэффициентом альтернативности  $A$ . Обозначим отдельные метеорологические элементы  $x_k$ , отдельные группы легких или тяжелых ионов  $n_i$  ( $n_1$  и  $n_2$ ) и  $N_j$  ( $N_1$  и  $N_2$ ) и два ряда соответствующих коэффициентов корреляции через  $r(n_i, x_k)$  и  $r(N_j, x_k)$ .

Коэффициент альтернативности равен

$$A(n_i, N_j) = \frac{\sum_{k=1}^m |r(n_i, x_k) - r(N_j, x_k)|}{\sum_{k=1}^m |r(n_i, x_k) - r(N_j, x_k)| + \sum_{k=1}^m |r(n_i, x_k) + r(N_j, x_k)|}. \quad (5)$$

Здесь:  $i=1,2$ ;  $j=1,2$ ;  $k=1,2$ ,  $m$ , где  $m$  — число метеорологических элементов. Аналогично определяются коэффициенты  $A(p_i, p_j)$  или  $A(N_j, N_i)$  при метеорологических данных различных годов.

По определению значение коэффициента альтернативности  $0 \leq A \leq 1$ , причем, если соответствующие члены первого и второго ряда равны по абсолютной величине и одинаковы по знаку, то  $A=0$ , если же они при этом противоположны по знаку, то  $A=1$ .

В таблице 5 даны коэффициенты альтернативности, вычисленные на основе двух рядов коэффициентов корреляции между концентрацией положительных ионов и пятью метеорологическими элементами ( $t$ ,  $p$ ,  $e$ ,  $g$ ,  $V$ ) для 1951 и 1960—1962 гг.

Таблица 5

Коэффициенты альтернативности  $A(p_i^+, p_j^+)$  и  $A(N_j^+, N_i^+)$

Сравниваемые периоды	$p_1^+$		$p_2^+$		$N_1^+$		$N_2^+$	
	хол. п/г	тепл. п/г	хол. п/г	тепл. п/г	хол. п/г	тепл. п/г	хол. п/г	тепл. п/г
1951 и 1960—1962 гг.	0,36	0,41	0,32	0,75	0,19	0,16	0,21	0,26

Малые значения  $A$ , полученные для тяжелых ионов ( $N_2, N_1$ ), указывают на устойчивость корреляционной связи с метеорологическими элементами. Наоборот, для легких ионов встречаются ряды неопределенных и даже преимущественно противоположных оценок, так как значения  $A$  становятся уже сравнимыми с 0,5—1,0. Трудно допустить, чтобы явно выраженное различие в характере связей легких и тяжелых ионов с другими элементами не имело бы достаточно общих физических оснований. Рассматривая причинно-следственный ряд: радиоактивность — легкие ионы + аэрозоль — тяжелые ионы, можно заметить, что если радиоактивность положительно коррелирует с аэрозолем, характер связи легких и тяжелых ионов с другими элементами будет различным. При одновременном возрастании (убывании) концентрации аэрозолей и радиоактивности воздуха концентрация тяжелых ионов также возрастает (убывает), а концентрация легких ионов может как возрасти, так и убывать. Метеорологические элементы оказывают косвенное влияние на концентрацию ионов за счет воздействия на изменения радиоактивности и концентрации аэрозолей. Поэтому связь тяжелых ионов с метеорологическими элементами должна быть более определенной, чем связь легких ионов.

Уточнение границы между легкими и тяжелыми ионами может быть сделано на основе сравнения коэффициентов альтернативности различных парных последовательностей — коэффициентов корреляции между выбранными группами ионов и метеорологическими элементами. В результате исследования как годового и суточного ходов, так и корреляционных связей легких и тяжелых ионов с метеорологическими элементами еще более резко выделяются различия двух основных групп ионов, поведение которых в обычных условиях противоположно почти во всех отношениях, что может служить характерным признаком для первичной классификации.

Естественной границей между легкими и тяжелыми ионами может служить также один из минимумов спектральной кривой распределения ионов по размерам или, с другой стороны, по подвижностям. По измерениям Э. Юнкера и М. Мизаки [Yunker, 1940; Misaki, Kanazawa, 1968], этот минимум несколько сдвинут относительно принятого граничного значения  $k=0,1 \text{ см}^2/\text{сек} \cdot \text{в}$  и расположен около  $k=0,4 \text{ см}^2/\text{сек} \cdot \text{в}$ . Исследование спектра легких ионов и естественной радиоактивной пыли показывает, что максимумы спектральной кривой описываются формулой  $R=R_0 \cdot 2^n$ , где  $R$  — радиус частиц,  $R_0=5,5 \cdot 10^{-8} \text{ см}$  и  $n=0, 1, 2$ , [Махонько, 1963]. В этой формуле первый максимум ( $n=0$ ) соответствует легким ионам, второй ( $n=1$ ) экспериментально не обнаружен, а третий максимум ( $n=2$ ) соответствует минимальным размерам радиоактивной пыли ( $R=2,2 \cdot 10^{-7} \text{ см}$ ) и приходится на частицы с подвижностью  $k=0,1 \text{ см}^2/\text{сек} \cdot \text{в}$ . Ближайший минимум спектральной кривой и искомая граница, вероятно, находятся около  $k=0,2 \div 0,3 \text{ см}^2/\text{сек} \cdot \text{в}$ , что согласуется с измерениями Э. Юнкера.

Для проверки этой границы используем функциональные связи, характеризующие корреляционной зависимостью концентрации ионов от метеорологических элементов. Вычислим коэффициент альтернативности  $A$  по данным о коэффициентах корреляции между легкими ионами  $n_2$  (первый ряд чисел) и тяжелыми ионами  $N_2$  (второй ряд чисел) и группами  $n_1$  (молионы) и  $N_2$ . При этом берутся все коэффициенты корреляции, независимо от их величины (в том числе меньшие пороги достоверности, которые обычно по формальным соображениям отбрасываются). В таблице 6 приведены результаты расчетов, а также указано количество коэффициентов корреляции, попарно совпадающих ( $r^+$ ) или противоположных ( $r^-$ ) по знаку.

Для тяжелых ионов ( $N_2$ ) и молионов ( $n_1$ ) коэффициент альтернативности  $A(n_1, N_2)=0,65 \div 0,70$ , т. е. заметно больше 0,5, и противоположность свойств ионов группы  $N_2$  (при верхней границе тяжелых ионов  $k=0,1 \text{ см}^2/\text{сек} \cdot \text{в}$ ) и  $n_1$  (при нижней границе молионов  $k=1,0 \text{ см}^2/\text{сек} \cdot \text{в}$ ) выражена вполне определенно. Для коэффициента  $A(n_2, N_2)=0,47 \div 0,58$  эти различия сти-

Коэффициенты альтернативности  $A(p_i, N_2)$  и повторяемость знаков

Периоды	Группы ионов	$A(p_i, N_2)$	$p^-$	$p^+$
Холодные п/г 1960/61 и 1961/62 гг.	$(p_2, N_2)$ $(p_1, N_2)$	0,58 0,70	9 11	5 3
Теплые п/г 1961 и 1962 гг.	$(p_2, N_2)$ $(p_1, N_2)$	0,47 0,65	5 8	9 6
1960—1962 гг. в целом	$(p_2, N_2)$ $(p_1, N_2)$	0,50 0,69	7 13	7 1

раются, поэтому граница между тяжелыми и легкими ионами расположена выше  $k=0,1$  см<sup>2</sup>/сек·в. На основе только двух комбинаций нельзя полностью определить искомую границу между  $N$  и  $p$ . Учитывая, что эта граница  $k_{гр}$  находится ниже предельного значения  $k$  для молионов, т. е.  $k_{гр} < 1,0$  см<sup>2</sup>/сек·в, и выше верхней границы для тяжелых ионов, т. е.  $k_{гр} > 0,1$  см<sup>2</sup>/сек·в, можно принять в качестве приближенной оценки границы между  $N$  и  $p$  значение  $k_{гр} \approx 0,5$  см<sup>2</sup>/сек·в.

Таким образом, различные принципы подразделения ионов на две основные группы приводят практически к одинаковым результатам и подтверждают к тому же реальность корреляционных коэффициентов и метода альтернативности.

3.5. Расчет концентрации аэрозолей по данным измерений тяжелых ионов. Длительные систематические наблюдения за концентрацией аэрозолей проводились обычно вблизи больших промышленных городов, вследствие чего трудно оценить, насколько результаты этих измерений характеризуют естественный фон. Наиболее распространенная аппаратура для измерения ядер (счетчики типа Шольца) предназначена только для визуальных измерений. Поэтому результаты расчета концентрации ядер по концентрации тяжелых ионов представляют интерес и с методической стороны.

После определения переводного множителя счетчик тяжелых ионов, вместе с динамическим электрометром и самопишущим прибором, может быть использован в качестве непрерывного регистратора концентрации аэрозолей. Среднее соотношение концентрации аэрозолей Айткена ( $0,5 < r \leq 20$  мкм) и концентрации аэрозолей в диапазоне размеров тяжелых ионов  $N_2$  ( $0,2 < r \leq 5,7$  мкм) оказалось равным 1,71. Это число определялось спектральной кривой Х. Юнге [Israel, 1957, стр. 182], перестроенной от логарифмической в линейный масштаб.



Отношение концентрации тяжелых ионов обоих знаков к общей концентрации аэрозолей принято по данным П. Н. Тверского [1949, 1962] равным 0,57 что основано на константах Р. А. Аллика. Теоретические расчеты других авторов [Фукс, 1955, 1964; Юнге, 1965; Junge, 1955] дают близкие к выбранному числу значения, и в самой последней экспериментальной работе получено значение 0,5 [Пастух, 1968]. Поэтому погрешность определения концентрации аэрозолей не превышает 15%. Аэрозоли Айткена рассчитаны по формуле

$$N_a = 1,71 \cdot \frac{N_2^+ + N_2^-}{0,57} = 3,0(N_2^+ + N_2^-). \quad (6)$$

Аэрозольные частицы, по данным проведенных измерений легких и тяжелых ионов, имеют эффективный радиус порядка 0,1 мкм. Средние годовые значения концентрации аэрозолей в 1961 и 1962 гг. получились равными соответственно  $25,4 \cdot 10^3 \text{ см}^{-3}$  и  $27,1 \cdot 10^3 \text{ см}^{-3}$ , что хорошо согласуется с результатами измерений с помощью счетчика Шольца в других местах, где естественные условия мало нарушены: в аэропорту в Ленинграде  $21,5 \cdot 10^3 \text{ см}^{-3}$  [Селезнева, 1966, среднее за 1961—1964 гг.], в предместье Варшавы Свидше  $16,0 \cdot 10^3 \text{ см}^{-3}$  [Gadomski, 1964, среднее за 1961—1962 гг.], в небольших городах  $34,3 \cdot 10^3 \text{ см}^{-3}$  [по Х. Ландсбергу, без уточнения места и времени] (рис. 18). В среднем концентрация аэрозолей в г. Тарту приблизительно на 40% ниже, чем в г. Будапеште [Simon, 1966]. В годовом ходе минимальных концентраций аэрозолей средние месячные значения наблюдаются летом, максимальные — зимой. В зимнее время колебания концентрации аэрозолей связаны, в основном, с изменением количества дыма, поступающего в атмосферу из труб отопительных систем. В зимние месяцы 1960—1962 гг. концентрация аэрозолей была заметно ниже, чем в соответствующие месяцы 1951 г., когда она повышалась до значений порядка  $(40—50) \cdot 10^3 \text{ см}^{-3}$ .

3.6. Расчет плотности объемного заряда в г. Тарту. Плотность объемного заряда  $q$  (создаваемого частицами с радиусом меньше 5,7 мкм) определялась по формуле

$$q = (n_2^+ + N_2^+) - (n_2^- + N_2^-). \quad (7)$$

Средние годовые значения плотности объемного заряда в 1951, 1961 и 1962 гг. равнялись соответственно 200,  $-30$  и  $280 \text{ (э. з.) см}^{-3}$ . Резкое понижение плотности  $q$  в 1961 г. вызвано, в основном, аномальным отрицательным объемным зарядом, наблюдавшимся в течение 3 месяцев (с апреля по июнь). В среднем за остальные 9 месяцев 1961 г. плотность объемного заряда понижена не так сильно и составляет  $+80 \text{ (э. з.) см}^{-3}$ . Аномальный объемный заряд в апреле—июне 1961 г. был связан преим-

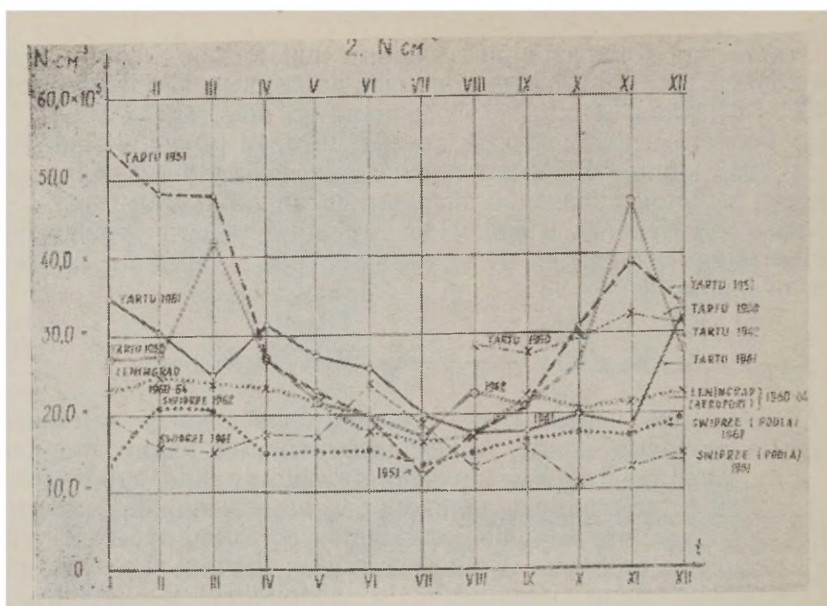


Рис. 18. Ход теоретически выведенных концентраций аэрозолей (ядер Айткена) в Тарту в 1951 г. за период VIII 1960—XII 1962 гг. и их сравнение с измерениями в Ленинградском аэропорту (у земли) и в предместье Свидше (в 15 км от г. Варшавы).

щественно с понижением положительных тяжелых ионов Ланжевена ( $0,001 > k \geq 0,00025 \text{ см}^2/\text{сек} \cdot \text{в}$ ), что обнаружено в Тарту в теплое время года в 1951 г. [Рейнет, 1958 б] и в 1961 г. автором.

Годовой ход плотности объемного заряда в г. Тарту (по наблюдениям в 1960—1962 гг.) характеризуется максимумом в зимние месяцы и поэтому в общих чертах согласуется с ходом объемного заряда и градиента потенциала электрического поля в других пунктах земного шара [Махоткин, Сушинский, 1960] (рис. 19).

Суточный ход плотности объемного заряда хорошо воспроизводится в соседние годы (1961—1962 гг.), но, в отличие от других мест [Ленинград—Лесной, 1923—1924 гг. и т. д.], имеет явно выраженный главный минимум в 4 часа, главный максимум в 10 часов, побочный минимум в 16 часов и побочный максимум в 19—22 часа.

Благодаря 8 группам ионов и длительному периоду измерений впервые появилась возможность дать совершенно новую характеристику спектра ионов по среднему значению плотности объемного заряда, создаваемого отдельными группами. По данным, приведенным в табл. 7, отдельные группы подвижности ионов либо достаточно резко отличаются по плотности объемно-

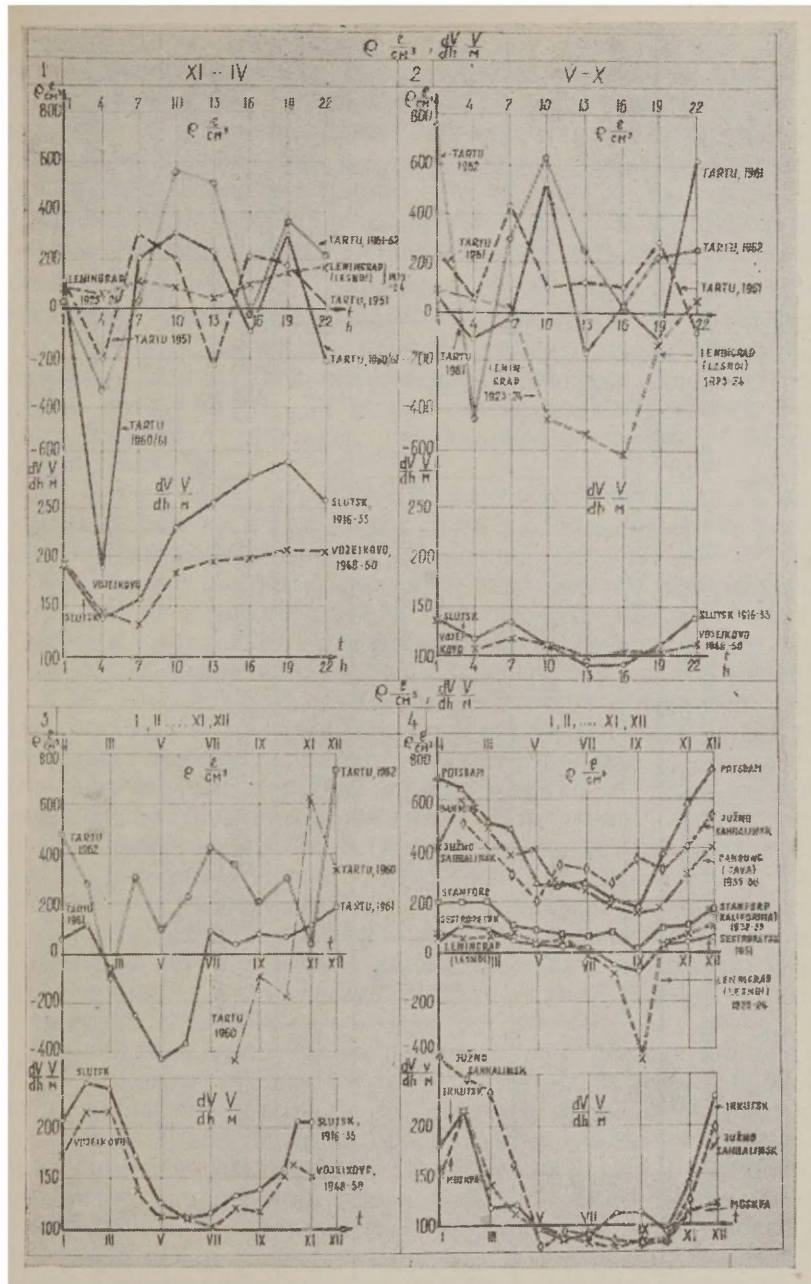


Рис. 19. Суточный и годовой ход объемного заряда в Тарту в 1951 г. и за период VIII 1960—XII 1962 гг. и сравнение его с ходом градиента потенциала электрического поля Земли в Слуцке и Воейково.

Таблица 7

Распределение средних плотностей объемных зарядов (за 29 месяцев) и характеристики повторяемости средних месячных значений

1	Границы подвижности $k_i$ (см <sup>2</sup> /сек·в)	Группы подвижности							
		1	2	3	4	5	6	7	8
		$\geq 2,5$	2,5—1;	1—0,5	0,5—0,1;	0,1—0,05	0,05—0,01	0,01—0,001	0,001— 0,00025
2	$\bar{q}_i$ , (э. з) · см <sup>-3</sup>	-7	+40	+30	-2	-3	-41	+93	-1
3	$\sigma_i$ , (э. з) · см <sup>-3</sup>	15	15	15	25	20	90	130	260
4	$q^+$ , %	24	100	93	38	45	31	76	45
	$q^0$ , %	14	0	4	24	24	7	3	0
	$q^-$ , %	62	0	3	38	31	62	21	55
5	Знак объемного заряда	0	+		0		—	+	0
6	Группы спектра ионов	I. Мо- лионы	II. Легкие ионы		III. Промежуточ- ные ионы		IV. Средние ионы	V Полутя- желые ионы	VI. Ионы Ланже- вена

Обозначения:  $i$  — порядковый номер группы;  $k_i$  — соответствующие граничные подвижности;  $\bar{q}_i$  — средняя плотность объемного заряда для  $i$ -группы;  $\sigma_i$  — дисперсия (стандартное отклонение, определенное по номограмме);  $q^+$ ,  $q^0$  и  $q^-$  — относительное число месяцев (в процентах от общего числа, равного 29), когда наблюдался соответственно положительный, нулевой или отрицательный объемный заряд.

го заряда, либо практически совпадают (пары 2 и 3, 4 и 5). В итоге можно предложить новый вариант классификации ионов (шестая строчка табл. 7), который отличается определенной систематичностью в выборе границ отдельных групп, тогда как традиционная классификация носит условный характер, вследствие чего вопрос об уточнении границ обычно даже не возникал. Данные, приведенные в таблице 7, подтверждают, в частности, правильность указанной выше границы между легкими и тяжелыми ионами ( $k=0,5 \text{ см}^2/\text{сек} \cdot \text{в}$ ). Значение  $\bar{q}_1$  для группы I (молионы) объясняется симметричным действием ионизаторов атмосферы,  $\bar{q}_1$  для группы II, возможно, связано с электродным эффектом у поверхности Земли. Дальнейшее исследование найденных соотношений для групп III—VI может содействовать решению очень трудной задачи о причинах возникновения объемных зарядов различных знаков.

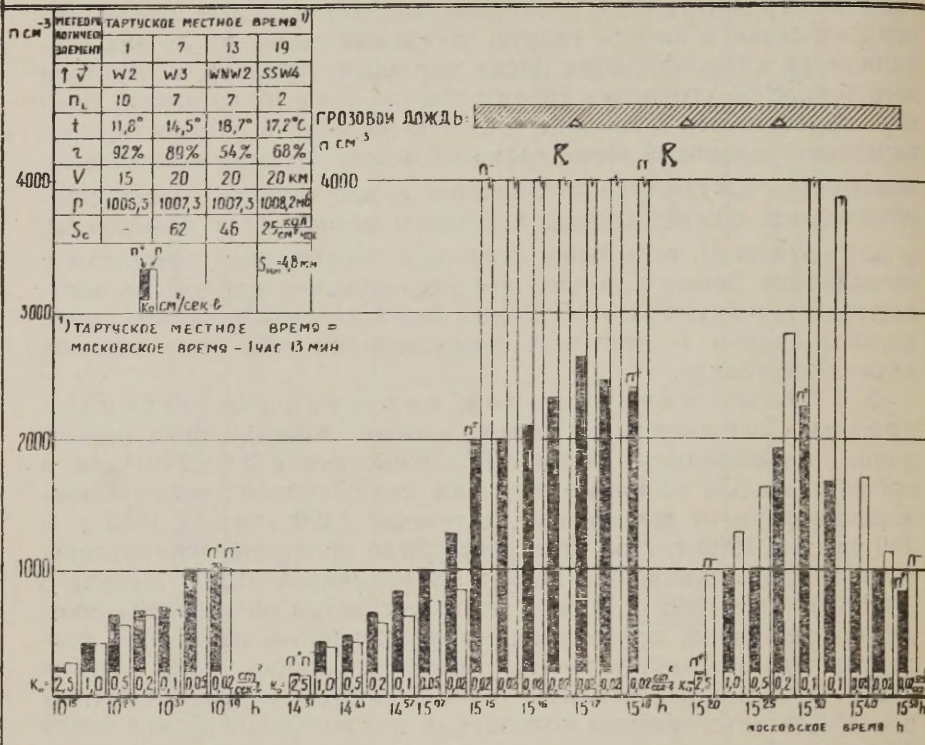
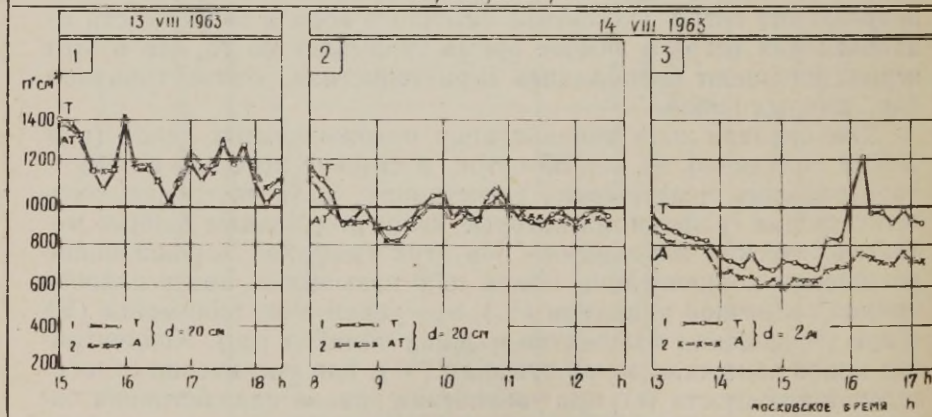
3.7 Опыт непрерывной регистрации легких и средних положительных ионов. Непрерывная регистрация положительных ионов с подвижностью  $k \geq 0,02 \text{ см}^2/\text{сек} \cdot \text{в}$  производилась с помощью счетчика, снабженного динамическим электрометром и самописцем, в течение 1320 часов в 1962 г и 240 часов в 1963 г. При этом всего было проведено 65 круглосуточных серий измерений, из них 55 (обычно 4 раза в месяц) в 1962 г. и 10 в 1963 г. В этом участке спектра объединены ионы различных типов, поэтому зарегистрированные изменения концентрации, преимущественно соответствующие ходу легких ионов, в отдельные периоды приближаются к ходу тяжелых ионов. Соответствующим колебаниям концентрации легких ионов ( $n_2$ ) аналогичен годовой ход (с максимумом летом и минимумом зимой), а в течение теплого полугодия также суточный ход (максимум в 1 час, минимум в 7 часов) и вариации в зависимости от направления ветра. Изменение суточного хода и зависимости от направления ветра в зимнее время указывает на то, что в этот период начинают преобладать характеристики, более типичные для тяжелых ионов.

Для анализа хода концентрации положительных ионов ( $k \geq 0,02 \text{ см}^2/\text{сек} \cdot \text{в}$ ) за все 55 суток, в течение которых в 1962 г. производилась непрерывная регистрация, были построены соответствующие графики, на которые наносились также данные метеорологических наблюдений. На этих графиках хорошо видно повышение концентрации ионов при повышении интенсивности прямой солнечной радиации ( $S_c$ ), при увеличении видимости ( $V$ ) и при уменьшении количества нижних облаков ( $n_L$ ). Концентрация ионов понижалась при туманах ( $\equiv$ ), при увеличении относительной влажности ( $r$ ), при увеличении показателя состояния поверхности почвы ( $E$ ) в холодное время (январь—март, декабрь) до 3 и более (почва мерзлая), а также при осадках (за исключением грозовых дождей) В теплое время года (с апреля по



$n^*, n^-, \kappa \geq 0.02 \text{ см}^2/\text{сек} \cdot \text{б}$ 

30 VII 1962


 $n^*, \kappa \geq 0.02 \text{ см}^2/\text{сек} \cdot \text{б}$ 


ноябрь) уменьшение показателя состояния почвы (Е) на 0 (сухая) или 1 (мало влажная) сопровождается, наоборот, ростом концентрации ионов до среднего уровня  $n=1000 \text{ см}^{-3}$  и даже выше. Во время грозового дождя концентрация отрицательных ионов резко увеличивается из-за баллоэлектрического эффекта (даже выше предела измерения аппаратуры  $n=4000 \text{ см}^{-3}$ ), а концентрация положительных ионов увеличивается меньше ( $1000—2800 \text{ см}^{-3}$ ) (рис. 20, верхний) [Прюллер и соавторы, 1966 б; Prüller, Reinet, 1966].

Для анализа изменений концентрации ионов в зависимости от синоптического положения были использованы карты, составленные Гидрометеослужбой ЭССР. В условиях циклонической погоды (особенно при прохождении холодных фронтов) концентрация ионов ( $k^+ \geq 0,02 \text{ см}^2/\text{сек} \cdot \text{в}$ ) обычно была ниже, чем при антициклонической погоде.

В заключение можно отметить, что изменения концентрации ионов внутри помещения почти точно следуют за изменениями концентрации ионов в открытом воздухе, но только на пониженном уровне (на  $100—200 \text{ см}^{-3}$ ) (рис. 20, нижний)

#### 4. Гигиеническое и биометеорологическое значение ионизации атмосферы

4.1. Характеристики загрязнения атмосферы. Исследования ионизации атмосферы имеют большое значение для гигиенической оценки загрязнения воздуха продуктами сгорания. Концентрация частиц, регистрируемых счетчиком тяжелых ионов ( $0,1 > k \geq 0,00025 \text{ см}^2/\text{сек} \cdot \text{в}$ ), составляет примерно 30% от концентрации атмосферных аэрозолей, причем это соотношение довольно устойчиво. Получение детальных систематических данных может быть облегчено путем замены визуального подсчета концентрации аэрозолей автоматической регистрацией концентрации тяжелых ионов с помощью современной самопишущей аппаратуры.

Исходя из ионизационно-рекомбинационного уравнения, можно показать [Махоткин, 1963], что при параллельных измерениях легких ( $p_2$ ) и тяжелых ( $N_2$ ) ионов интерес представляют дан-

---

Рис. 20. Верхний рисунок. Ионный спектр с предельными подвижностями  $k_0=2,5; 1,0; 0,5; 0,2; 0,1; 0,05$  и  $0,02 \text{ см}^2/\text{сек} \cdot \text{в}$  во время грозы 30 VII 1962 г. с 15<sup>15</sup> до 15<sup>45</sup> часов, измеренный счетчиком с динамическим электрометром. Концентрации отрицательных ионов превышали предел счетчика  $n=4000 \text{ см}^{-3}$ . Нижний рисунок. Концентрации положительных ионов ( $k \geq 0,02 \text{ см}^2/\text{сек} \cdot \text{в}$ ), измеренные в главном здании ТГУ: 1) и 2) стационарный счетчик (кривая Т) и портативный счетчик (кривая АТ) с динамическими электрометрами при измерении атмосферного воздуха; 3) стационарный счетчик (кривая Т) измеряет ионизацию атмосферного и портативный счетчик (кривая А) ионизацию лабораторного воздуха.

ные не только о концентрации ионов, но также и о величине параметра

$$M = n \cdot N = \frac{n_2^+ + n_2^-}{2} \cdot \frac{N_2^+ + N_2^-}{2}, \quad (8)$$

где  $n$  — арифметическое среднее легких и  $N$  — тяжелых ионов обоих знаков.

Средние годовые значения параметра  $M$  по данным измерений в г. Тарту изменяются очень мало (в 1951, 1961 и 1962 гг. соответственно  $2,0 \cdot 10^6$ ,  $2,1 \cdot 10^6$  и  $2,3 \cdot 10^6$  см<sup>-6</sup>), что свидетельствует об отсутствии заметного векового хода и достоверности измерений, проведенных в 1951 и 1961—1962 гг. По значению параметра  $M$  попутно получается оценка среднего (эффективного) радиуса частиц аэрозолей ( $r \approx 0,1$  мкм). При устойчивых значениях  $M$  на практике часто используемый коэффициент загрязнения  $c = \frac{N}{n} = \frac{N^2}{M} = \frac{M}{n^2}$  [Минх, 1963; Деляну, 1960] оказывается эквивалентным в смысле реально содержащейся в нем информации величине  $N^2$  или, в конечном счете,  $N$  соответственно для легких ионов  $n^{-2}$  или  $n^{-1}$ . В последнем случае величина  $n$  обратно пропорциональна  $N$  и характеризует чистоту воздуха.

Практически для характеристики чистоты (или загрязненности) воздуха удобно выражать концентрацию легких (или соответственно тяжелых) ионов в относительных единицах, выбирая в качестве базисных значений величины, соответствующие малозагрязненному естественному воздуху. Более точные результаты получаются при одновременных измерениях в различных пунктах, что трудно осуществить в течение длительного времени. При обработке наблюдений, проведенных в г. Тарту, в качестве базиса были выбраны значения концентрации ионов, полученные по данным измерений в 1 час ночи. В это время городские условия вносят наименьшие искажения и полученные данные соответствуют малозагрязненному естественному воздуху. Замечательно, что в течение всего года концентрации тяжелых ионов  $N_2$  в указанное время изменяются мало, колеблясь в достаточно узких пределах от 2000 до 3000 см<sup>-3</sup>. Для сравнения можно указать, что средние месячные значения  $N_2$  в 7 часов достигают значений порядка 8500—12 800 см<sup>-3</sup> (февраль 1961, март 1962 г.).

Для характеристики колебаний чистоты воздуха в г. Тарту приведены графики хода средних месячных значений суммы концентрации легких ионов  $n_2$  обоих знаков по отдельным срокам (1, 7, 13 и 19 часов<sup>1</sup>) и хода показателя чистоты воздуха

$$d = \frac{n_7^+ + n_7^-}{n_1^+ + n_1^-}; \quad \frac{n_{13}^+ + n_{13}^-}{n_1^+ + n_1^-}; \quad \frac{n_{19}^+ + n_{19}^-}{n_1^+ + n_1^-}; \quad (9)$$

<sup>1</sup> По тартускому местному времени.



где  $n_1^+ + n_1^-$ ,  $n_7^+ + n_7^-$  и т. д. — концентрация ионов в 1, 7 и т. д. часов (рис. 21). Аналогичные графики даются также для тяжелых ионов и показателя загрязнения воздуха (рис. 22).

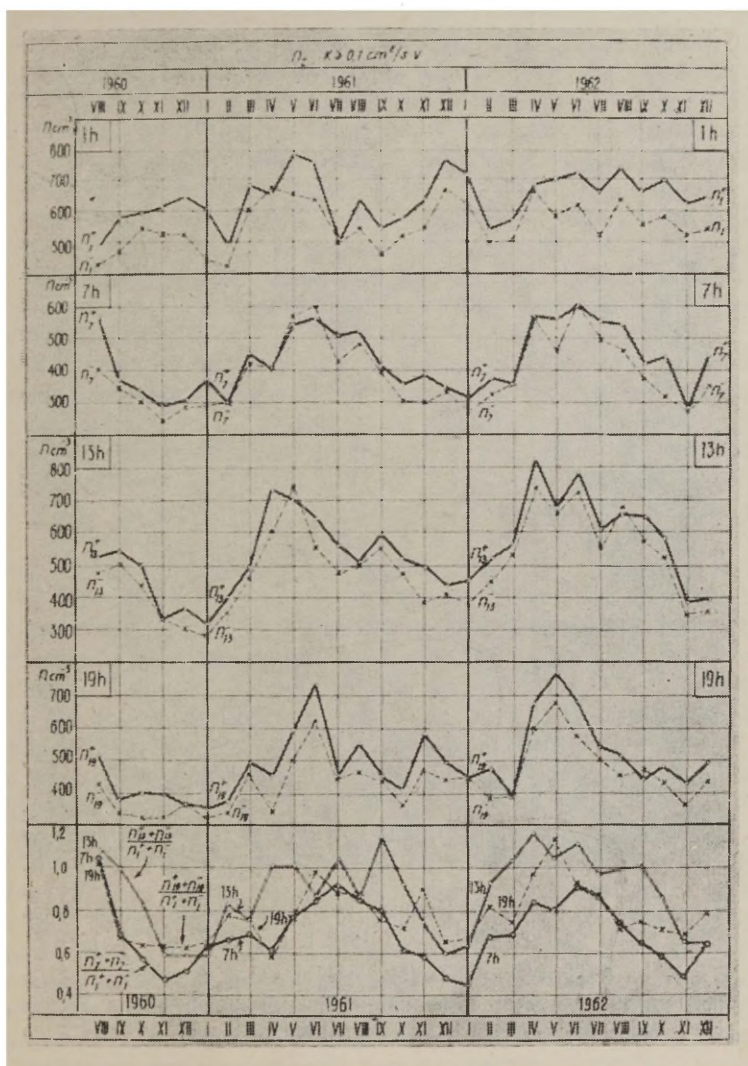


Рис. 21. Ход среднемесячных концентраций легких ионов ( $n_2^+$ ,  $n_2^-$ ) с VIII 1960 по XII 1962 г. в 1 ( $n_1^+$ ,  $n_1^-$ ), 7 ( $n_7^+$ ,  $n_7^-$ ), 13 ( $n_{13}^+$ ,  $n_{13}^-$ ) и 19 ( $n_{19}^+$ ,  $n_{19}^-$ ) часов и числа отношений среднемесячных сумм концентраций ионов обоих знаков  $n_7^+ + n_7^-$ ,  $n_{13}^+ + n_{13}^-$  и  $n_{19}^+ + n_{19}^-$  к сумме  $n_1^+ + n_1^-$ .

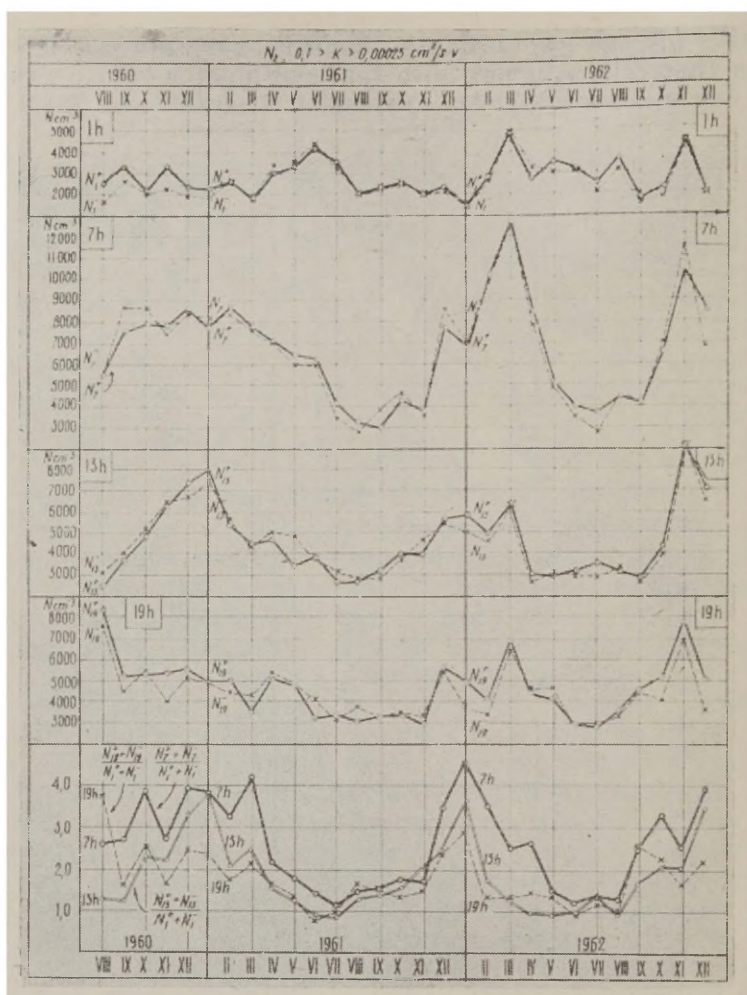


Рис 22. Ход среднемесячных концентраций тяжелых ионов ( $N_2^+$ ,  $N_2^-$ ) с VIII 1960 по XII 1962 г. в 1 ( $N_1^+$ ,  $N_1^-$ ), 7 ( $N_7^+$ ,  $N_7^-$ ), 13 ( $N_{13}^+$ ,  $N_{13}^-$ ) и 19 ( $N_{19}^+$ ,  $N_{19}^-$ ) часов и числа отношений среднемесячных сумм концентраций ионов обоих знаков  $N_7^+ + N_7^-$ ,  $N_{13}^+ + N_{13}^-$  и  $N_{19}^+ + N_{19}^-$  к сумме  $N_1^+ + N_1^-$ .

$$D = \frac{N_7^+ + N_7^-}{N_1^+ + N_1^-}; \quad \frac{N_{13}^+ + N_{13}^-}{N_1^+ + N_1^-}; \quad \frac{N_{19}^+ + N_{19}^-}{N_1^+ + N_1^-}. \quad (10)$$

4.2. Связь ионизации атмосферы с типами погоды. Влияние климата как многолетнего режима погоды и ионизации атмосферы изучалось многими исследователями [Ва-

сильев, 1953; Портнов, 1961 Минх, 1963; Reiter, 1960; Assmann, 1963; Kornblueh, 1960; см. также сборники «Вопросы климато-патологии», 1961; «Климат и сердечно-сосудистая патология», 1965]. В медицинской климатологии актуальное значение приобрел вопрос о типизации погоды для учета биологического влияния комплекса метеорологических элементов. Применяемая в курортологической и медицинской практике комплексная [Чубуков, 1949] или генетическая [Алисов, 1962] классификация слишком дробная, так как даже обширный статистический материал недостаточен для всех классов (14—16) при вычислении концентрации ионов. Автором применялась классификация с 7 типами, приспособленная к погоде Эстонской ССР [Прюллер, Рийв, 1965]. Для этого района подобная работа проводится впервые и охватывает к тому же связь между типами погоды и ионизацией атмосферы.

При типизации погоды для целей медицины и особенно курортологии учитывалось важное значение солнечной радиации, сильно влияющей на общий режим погоды, жизнедеятельность организмов, биологические процессы и т. д. [Кондратьев, 1954; Райк, 1963; Шварева, 1963]. Простейшей характеристикой радиационного режима является суточная продолжительность солнечного сияния, относительная  $s$  или истинная  $A^1$ , с которой линейно связаны суточные суммы суммарной (прямой и рассеянной) радиации [Райк, 1963]. Продолжительность солнечного сияния регистрируется на 10 станциях Гидрометеослужбы ЭССР и публикуется в ежемесячнике. С медицинской точки зрения важны также факторы, действующие не только на открытом воздухе, но и в помещении: давление воздуха, содержание ионов и аэрозолей, естественное электромагнитное излучение в диапазоне частот порядка 10—100 кгц и выше [Israel, 1961]. Исследования многих авторов [сб. «Климат и сердечно-сосудистая патология», 1965; Reiter, 1960; Assmann, 1963] показывают, что резкое падение атмосферного давления, связанное с циклонической деятельностью, вызывает биологические реакции, особенно у больных гипертонической болезнью и сердечно-сосудистыми заболеваниями. По нашим данным (1960—1963 гг.), резкое повышение смертности от этих болезней в большинстве случаев наблюдалось при прохождении циклонов через г. Тарту. Поэтому для типизации погоды в медицинских целях надо учитывать также влияние циклонической деятельности.

В соответствии с этими общими положениями были выделены 7 типов погоды (3 антициклонических, 2 циклонических и 2 переходных), которые соответствовали условиям Эстонской

---

<sup>1</sup> Относительная продолжительность солнечного сияния  $s = \frac{A}{B}$  где  $A$  — суточная истинная продолжительность и  $B$  — возможная суточная продолжительность солнечного сияния.

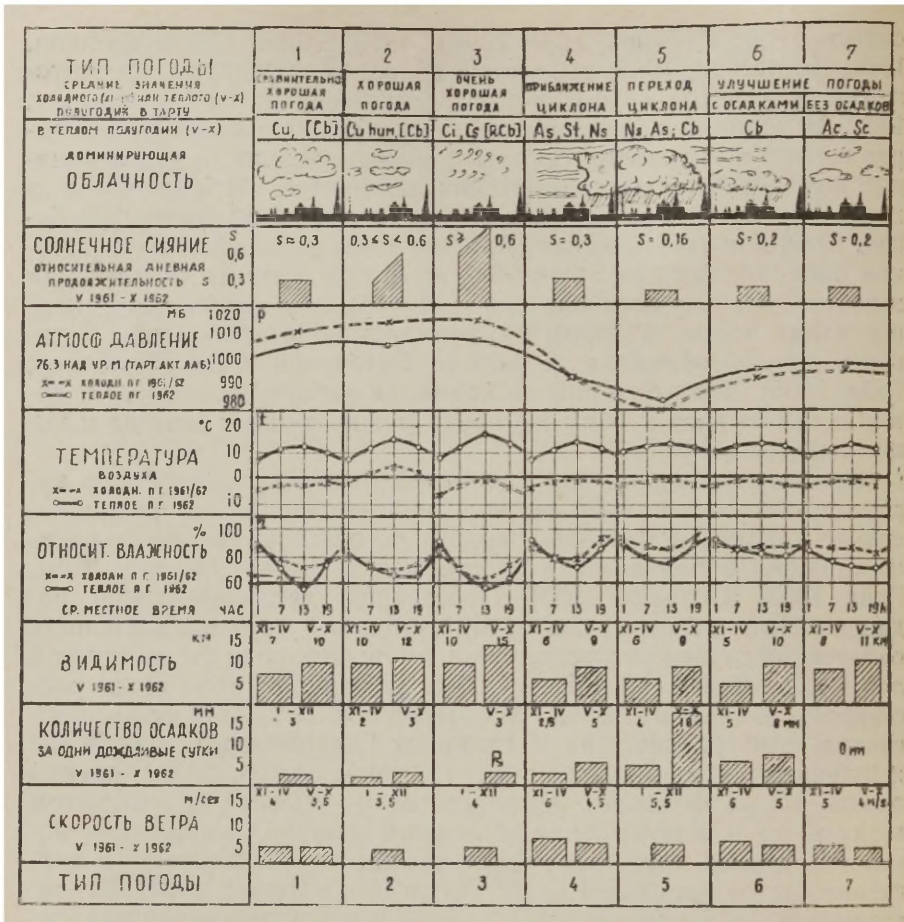


Рис. 23. Метеорологические характеристики типов погоды 1—7, составленные по метеорологическим данным г. Тарту в 1961 и 1962 гг.

СССР. Классификации с семью типами погоды уже предлагались для других мест [Шмидт, 1951; Ungeheuer, 1955; Brezowski, 1965], однако в них не были подчеркнуты первичные факторы классификации что создавало некоторые практические затруднения.

Типы нашей классификации расположены в следующем порядке (рис. 23).

1. Антициклоническая погода. Атмосферное давление по сравнению со средним повышено.

Тип 1. Относительно хорошая погода. Относительная продолжительность солнечного сияния  $s \leq 0,3$ .

Тип 2. Хорошая погода. Относительная продолжительность солнечного сияния в интервале  $0,3 < s \leq 0,6$ .

Тип 3. Очень хорошая погода. Относительная продолжительность солнечного сияния  $s > 0,6$ .

2. Циклоническая и фронтальная погода. Атмосферное давление по сравнению со средним понижено.

Тип 4. Начинаяющаяся перемена погоды (приближение циклона) Атмосферное давление резко падает. Относительная продолжительность солнечного сияния  $s \approx 0,3$ , быстрые переходы температуры летом от тепла к холоду. Зимой наоборот.

Тип 5. Совершившаяся перемена погоды (переход или близкий проход центра циклона). Минимум атмосферного давления и начало его увеличения,  $s \approx 0,16$ . Летом преимущественно холодно-влажно, зимой тепло-влажно.

3. Установление погоды. Атмосферное давление по сравнению со средним относительно низкое и неравномерно увеличивается.

Тип 6. Установление погоды с осадками,  $s \leq 0,2$ . Летом холодно-влажно, зимой тепло-влажно.

Тип 7. Установление погоды без осадков,  $s \approx 0,2$ . Летом холодно-сухо, зимой тепло-сухо.

Для каждого типа погоды составлены графики среднего суточного хода температуры, упругости водяного пара, а также указаны средние значения видимости, осадков и скорости ветра по данным наблюдений в г. Тарту в 1961—1962 гг. Распределение различных типов погоды в процентах от общего числа рассмотренных дней характеризуется данными, приведенными в таблице 8.

Таблица 8

Распределение типов погоды в г. Тарту в процентах от общего числа дней в интервале XI 1960 — X 1962 гг.

Время	Типы погоды (в %)							Число дней
	1	2	3	4	5	6	7	
Распределение в холодном полугодии (с XI по IV) в %	12,7	10,2	14,7	7,7	9,1	4,2	41,4	362
Распределение в теплом полугодии (с V по X) в %	12,2	26,6	20,4	3,3	3,5	13,6	20,4	368

<sup>1</sup> При типах погоды 4—7 отмеченная относительность солнечного сияния  $s$  является средней для г. Тарту по ежедневным данным 1962 и 1963 гг.

<sup>2</sup> В Уч. зап. ТГУ 1965, 178 на стр. 29 в тексте в таблице 1 тип 6 отмечен номером 7 и тип 7 номером 6.



В зависимости от типа погоды наблюдаются более или менее значительные изменения ионизации воздуха (рис. 24). Самая высокая концентрация легких ионов отмечена в наиболее солнечные дни (типы погоды 1, 2 с максимумом при типе 3). Так как лег-

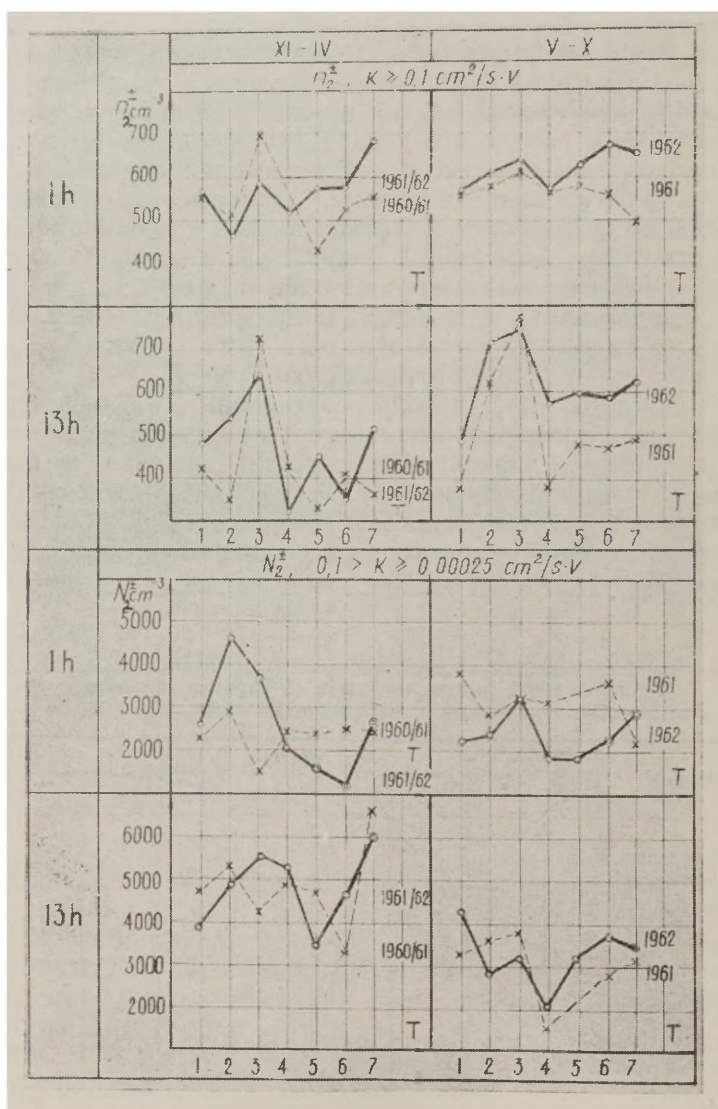
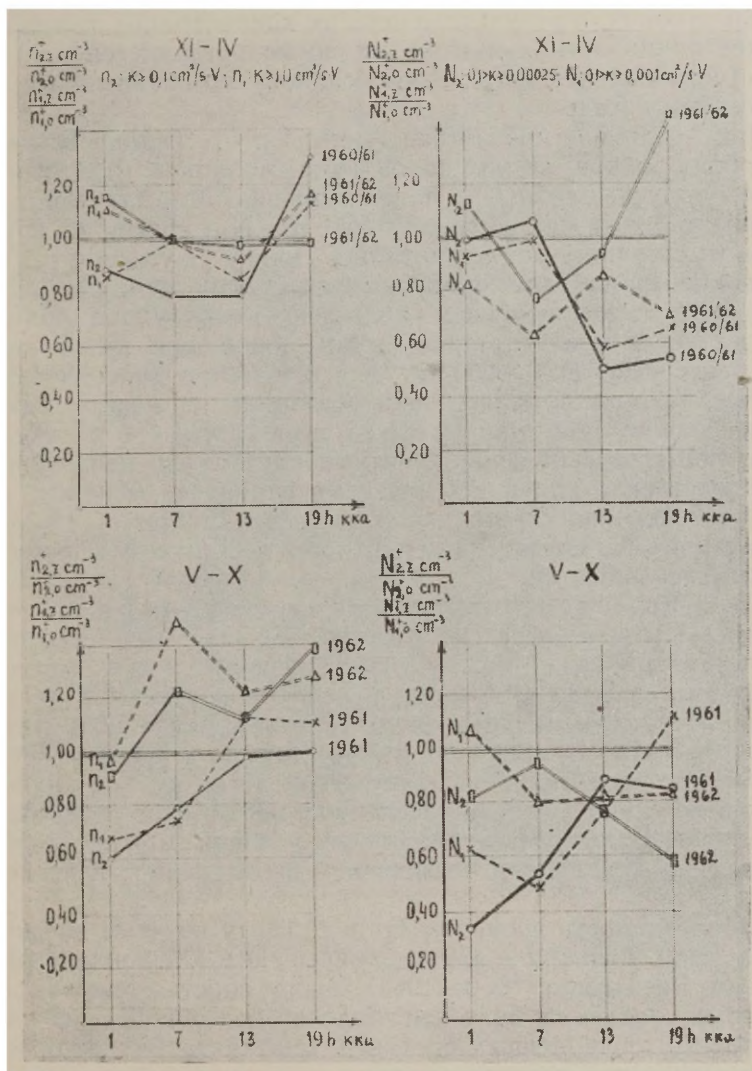


Рис. 24. Средняя концентрация легких ионов ( $n_2$ ) и тяжелых ионов ( $N_2$ ) обоих знаков по типам погоды с XI 1960 по X 1962 г. в теплом (V—X) и холодном (XI—IV) полугодиях в 1 и 13 часов в г. Тарту.

ким ионам (особенно отрицательного знака) приписывается благоприятное действие [Минх, 1963; Kornbluh, 1960], 3 тип погоды по сочетанию ряда положительных факторов является наилучшим с медицинской точки зрения. Минимум концентрации лег-



Р и с. 25. Суточный ход отношения концентраций положительных легких ионов  $p_{2z}^+$  и молионов  $p_{1z}^+$ , измеренных в циклональную погоду, к концентрациям легких ионов  $p_{20}^+$  и молионов  $p_{10}^+$  в холодном или теплом полугодии и соответствующие отношения концентраций тяжелых ионов  $N_{2z}^+$  и полутяжелых и средних ионов  $N_{1z}^+$  к  $N_{20}^+$  и  $N_{10}^+$ .

ких ионов приходится на 4 тип. Высокая концентрация тяжелых ионов наблюдается в течение холодного полугодия при типах погоды 1, 2 и 3 в связи с загрязнением воздуха дымом от топки печей. Осадки, характерные для 4 и 5 типов, вымывают часть тяжелых ионов, в результате чего их концентрация понижается. Концентрация легких и тяжелых ионов повышается при 7-ом типе (установление погоды без осадков) по сравнению с 5-м и 6-м типами погоды.

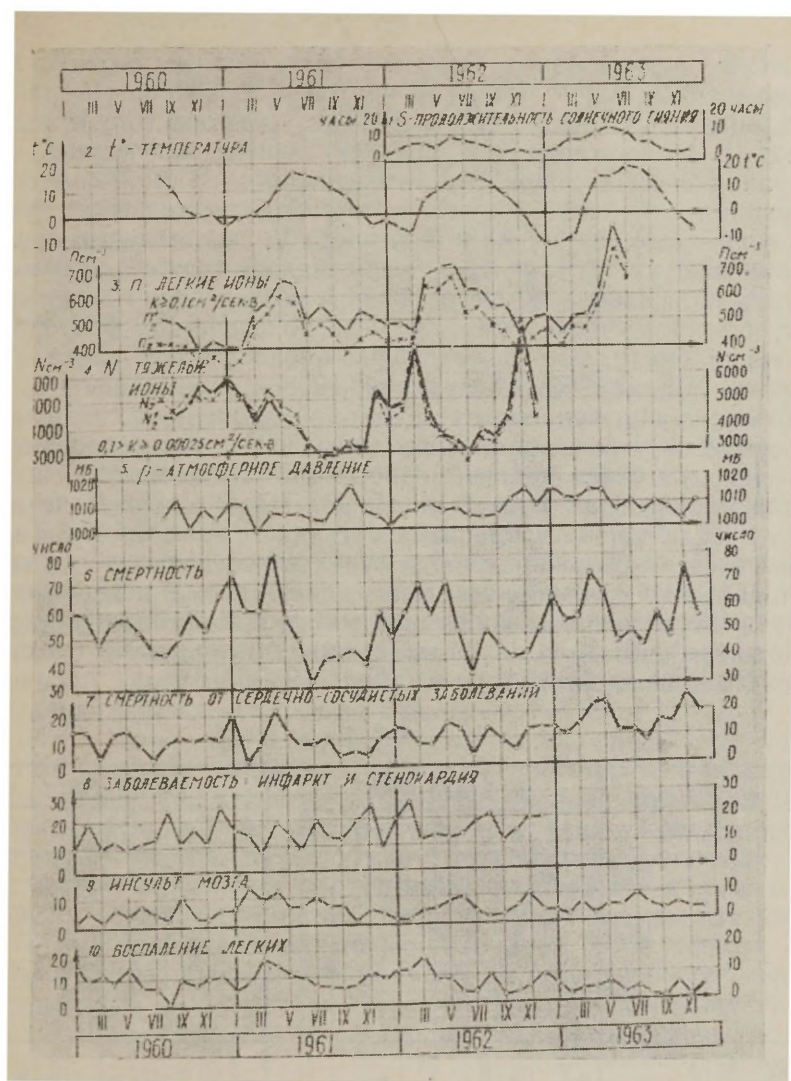
При циклонической погоде (типы 4 и 5) средние концентрации обоих знаков легких ионов ( $p_{2z}$ ), молионов ( $p_{1z}$ ), тяжелых ( $N_{2z}$ ) и полутяжелых ( $N_{1z}$ ) ионов меньше соответствующих средних полугодовых концентраций ( $p_{20}$ ,  $p_{10}$ ,  $N_{20}$ ,  $N_{10}$ ) (рис. 25). Это видно из суточного хода отношений (менее 1) упомянутых средних концентраций для холодных и теплых полугодий с XI 1960 по X 1962 гг. Исключением является лишь теплое полугодие 1962 г., когда концентрации легких ионов при типах погоды 4—7 были выше ( $100\text{--}200\text{ см}^{-3}$ ), чем в 1961 г. (рис. 24). В циклонические типы погоды осадки устраняют из воздуха тяжелые ионы. Поэтому при циклонических типах погоды 4 и 5 зачастую встречающиеся скопления смертных случаев за день (рис. 27) непосредственно никак не связаны с влиянием тяжелых ионов (исключением является влияние смога в г. Лондоне). Предполагаемые причины повышения смертности при прохождении циклонов еще исследуются.

4.3. Биометеорологическое значение типов погоды и ионизации атмосферы. Биометеорология изучает взаимосвязи между геофизическими и геохимическими факторами атмосферной среды и живыми организмами — растениями, животными и человеком. Термин «среда» понимается в широком смысле и включает микро-, макро- и космическую среду [Биометеорология, 1965]. Биометеорология имеет важное значение в медицине, гигиене населенных мест и курортологии.

Изменение комплекса природных условий может сопровождаться понижением или повышением заболеваемости и смертности.

Заболеваемость и смертность в г. Тарту изучены по данным клинических больниц и Бюро записей актов гражданского состояния. За 4 года (1960—1963) было зарегистрировано 2615 смертных случаев от болезней. Годовой ход общей смертности и смертности от сердечных болезней (инфаркта миокарда и сердечно-сосудистой недостаточности) повышается зимой и понижается летом [Прюллер, Рийв, 1963 в, г] (рис. 26). В весенне-летний период, при повышенной концентрации легких ионов (преобладают типы погоды 2 и 3) уменьшается число заболеваний сердечно-сосудистой системы (стенокардия, инфаркт миокарда, тромбозы и эмболии). В качестве исключений можно отметить рост числа заболеваний в августе 1960 и 1962 гг.





Р и с. 26. Среднемесячные данные хода метеорологических элементов, концентрации легких ( $n_2$ ) и тяжелых ( $N_2$ ) ионов, смертности и заболеваемости за период с 1960 по 1963 гг. в г. Тарту.

Наиболее благоприятные условия для здоровья человека создаются в результате согласованного действия ряда положительных метеорологических факторов и воспринимаются в виде единого комплекса, включающего ионизацию атмосферы. Места с повышенной концентрацией легких ионов (в горах до  $n = 2000 \text{ см}^{-3}$ ) считаются отличными курортами (на Кавказе, в

Крыму, в Средней Азии). Особенно благотворным считают временное преобладание легких отрицательных ионов. По нашим исследования в г. Тарту в 1961—1963 гг. в каждом году и за весь период в июне совпадали среднемесячные максимумы концентрации легких ионов  $p_2$ , интенсивности прямой солнечной радиации  $S_c$  (в 1962 и 1963 гг. также продолжительности суточного солнечного сияния  $A$ ) и видимости  $V$ , свидетельствующей о чистоте воздуха. На июнь и июль падали также минимумы смертности и заболеваемости. Наши исследования подтверждают, что комплексное действие метеорологических факторов и ионизации оказывают благотворное биологическое влияние на человека [Минх, 1963; Койранский, 1965].

Согласно полученным материалам, случаи резкого повышения суточной заболеваемости и смертности распределены по типам погоды очень неравномерно. Сами типы погоды повторяются также с различной вероятностью (табл. 8). В течение 1960—1962 гг. при 1927 смертных случаях от болезней в г. Тарту было отмечено 76 пиков смертности (резкое повышение смертности за день в течение нескольких дней) (рис. 27). Процентное распределение пиков в зависимости от типов погоды, распределение типов погоды за весь год (средние числа табл. 8) и отношения этих чисел приведены в таблице 9.

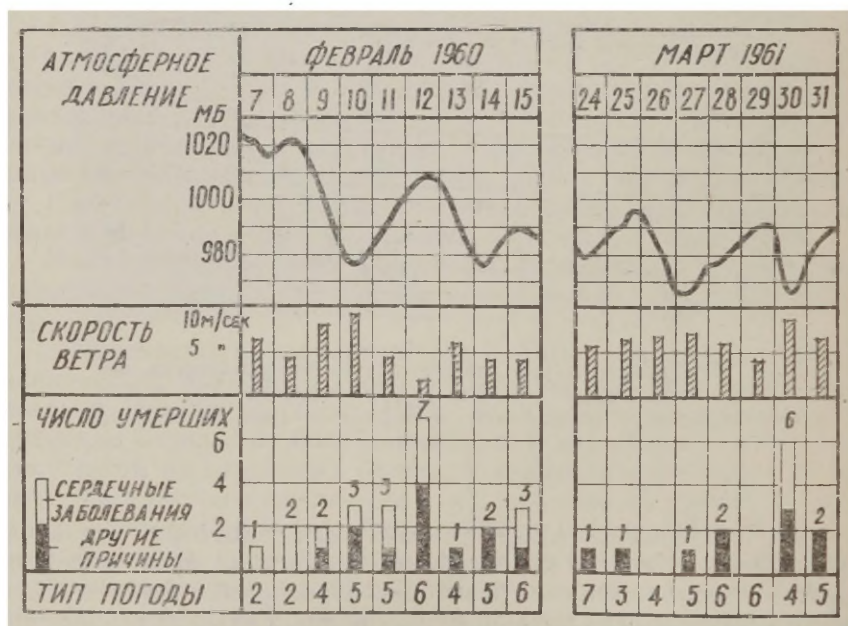


Рис. 27. Повышение смертности при резком падении атмосферного давления 10 II 1960 г. и 27 и 30 III 1961 г. в г. Тарту.

**Удельное распределение пиков смертности по типам  
погоды в интервале XI 1960 — X 1962 гг.**

Элементы	Типы погоды						
	1	2	3	4	5	6	7
Распределение							
а) пиков смертности в %	7	13	13	15	34	10	8
б) типов погоды в %	12	18	18	6	6	9	31
в) удельное пиков смертности	0,6	0,7	0,7	2,5	5,7	1,1	0,3

Для наиболее часто повторяющегося типа погоды 7 число резких повышений заболеваемости и смертности сравнительно мало. Такие случаи чаще всего наблюдаются при 4-м и 5-м типах погоды, повторяемость которых мала. Это приводит к крайне резкому повышению удельной повторяемости заболеваний и тяжелых исходов для 4 и 5 типов (циклоническая погода), которые оказываются исключительно неблагоприятными с медицинской точки зрения. Сосудистые кризы, стенокардии и инфаркты миокарда чаще обычно наблюдались при резком понижении атмосферного давления (в среднем при 4-м и 5-м типах погоды давление в г. Тарту понижалось на 6,8 мб за 6 часов вследствие прохождения поблизости центра циклона)

Атмосферное давление играет, возможно, роль сопутствующего фактора в отмеченных случаях резкого роста и обострения заболеваний, так как некоторые эффекты наблюдаются у метеотропных людей за несколько дней до прохождения циклона (например, боли в суставах или ампутационных культиях). Многие авторы объясняют эти эффекты, повышение кровяного давления и повышение смертности от сердечно-сосудистых заболеваний при циклонической погоде влиянием естественных электромагнитных волн (атмосфериков) на вегетативную нервную систему [сб. «Климат и сердечно-сосудистые заболевания», 1965; Reiter, 1960; Assmann, 1963]. Влияние электромагнитных волн на центральную нервную систему животных подтверждено опытами [Холодов, 1966]. Основная часть энергии атмосфериков, генерируемых грозовыми разрядами, сосредоточена в области сверхнизких частот порядка 4—50 кГц [Zink, Kuhnke, 1952].

Естественным излучателем радиоволн сверхвысокой частоты является Солнце. В 1960—1962 гг. 37 случаев циклонической деятельности (типы погоды 4 и 5) и пиков смертностей оказались слабо связанными с внезапным возрастанием потока радиоволн от Солнца на ультравысокой частоте 200 МГц по сравнению со спокойным Солнцем. Последнее служит прямым указанием на испускание Солнцем геоэффективных корпускул [Цимахович, 1967. 1968], которые могут влиять на живой организм и, возможно, на циркуляцию атмосферы. За три дня до наиболее близ-

кого приближения центра циклона к Тарту поток солнечных радиоволн не увеличивался в 38%, увеличивался от 2 до 9 раз в 40% и от 10 до 100 и больше раз только в 22% случаев при числе циклонов, равном 37. Земные факторы (атмосферики), по-видимому, влияют сильнее, чем космические (потoki корпускул и радиоволны Солнца).

Проведенный автором анализ результатов биофизических исследований медиков ТГУ цитированных в работе [Сийрде, 1966], показывает, что применение аэроионо- и электроаэрозоль-терапии свидетельствует о более интенсивном искусственном использовании предварительно в естественных условиях изученных факторов (электрический заряд ионов и аэрозолей и т. д.) для достижения их воздействия на биологические процессы в нужном направлении.

Полученные результаты подтверждают важность комплексных гигиенических исследований, т. к. влияние атмосферной ионизации нельзя изучать изолированно от других климатологических факторов [Минх, 1963]. Изучая влияние климата на человека, в медицинской профилактике, терапии и курортологии нужно исследовать воздействие не только метеорологических элементов, но и атмосферной ионизации, атмосферно-электрических явлений (атмосферики) и атмосферных аэрозолей (ядра) [Прюллер, 1966].

### Заключение и выводы

Остановимся кратко на связи нижеприведенных основных выводов, обусловленной комплексным характером изучаемой проблемы. Важное значение для оценки результатов имеют подтверждение репрезентативности результатов измерений ионизации для характеристики естественного уровня ионизации (выводы, п. 3) и установление количественных соотношений между измеренными и истинными концентрациями ионов (п. 4). Достаточно надежные экспериментальные данные служат основой для уточнения структуры спектра ионов (п. 6), для нахождения корреляционных связей между концентрациями ионов и метеорологическими элементами (п. 15) и для выяснения степени связи ионизации с типами погоды (п. 17). Геофизические и медико-гигиенические работы сближаются еще теснее в результате подтверждения возможности использования концентрации легких (тяжелых) ионов как показателя чистоты (загрязненности) воздуха (п. 19). Биометеорологические и медицинские аспекты связывает представление об аэроионо- и электроаэрозоль-терапии как методе воздействия на биологические процессы путем искусственного усиления факторов, положительное действие которых на здоровье человека было изучено первоначально в естественных условиях (п. 25).

1. В целях исследования ионизации атмосферы в г. Тарту с VIII 1960 по VII 1963 гг. за три года было сделано 27 731 измерений 5 групп легких и средних ионов и в том же промежутке в течение 29 месяцев — 11 085 измерений 3 групп тяжелых ионов.

2. Автором совместно с О. Саксом приспособлен комбинированный счетчик ионов с динамическим электрометром и самописцем для непрерывной регистрации концентрации ионов. В 1962—1963 гг. было осуществлено 65 круглосуточных непрерывных циклов измерения концентрации положительных средних ионов с подвижностью  $k \geq 0,02$  см<sup>2</sup>/сек. в.

3. По данным одновременной десятидневной регистрации 19—28 VIII 1963 г. средних положительных ионов ( $k \geq 0,02$  см<sup>2</sup>/сек. в) в городе (ТГУ) и за городом (в Актинометрической лаборатории ИФА АН ЭССР), результаты систематического исследования ионизации атмосферы с помощью стационарного счетчика, установленного в здании ТГУ, являются в среднем вполне репрезентативными и характеризуют в течение теплого полугодия естественный уровень ионизации и его периодические колебания. В холодное время года естественный уровень ионизации характеризуется результатами измерений, проведенных в 1 час ночи, когда при перерыве в отоплении уменьшается загрязненность воздуха.

4. Для получения истинной концентрации молионов ( $n_1$ ,  $k \geq 1,0$  см<sup>2</sup>/сек. в) и легких ионов ( $n_2$ ,  $k \geq 0,1$  см<sup>2</sup>/сек. в) при вычислении спектра ионов был широко использован численный (аналитический) метод [Х. Таммет, 1967]. В условиях мало загрязненной атмосферы истинные концентрации ионов  $\alpha$  — группы (молионов)  $n_\alpha$  на 20—30% ниже концентрации  $n_1$ ; для  $(\alpha + \beta)$  — группы (легкие ионы) концентрация  $n_{\alpha + \beta}$  на 20% ниже концентрации  $n_2$ . Средние подвижности положительных ионов одинаковы с подвижностями отрицательных ионов ( $\beta$  — группа, промежуточные ионы) или меньше ( $\alpha$  — группы) средней подвижности отрицательных ионов.

5. Благодаря полноте и систематичности измерений можно не только уточнить некоторые данные, но и наметить новые пути для подхода к экспериментальному решению проблемы о структуре спектра ионов. Вычисления спектра ионов подтверждают существование промежуточных ионов ( $1 > k \geq 0,1$  см<sup>2</sup>/сек. в), истинные концентрации которых увеличиваются летом ( $n_\beta \approx 300$  см<sup>-3</sup>) и уменьшаются зимой ( $n_\beta \approx 180$  см<sup>-3</sup>). Коэффициент униполярности легких ионов и молионов имеет в среднем значения порядка 1,1—1,2, а тяжелых ионов — около 1,0. Данные о среднем значении плотности объемного заряда в 1951, 1961 и 1962 гг. [соответственно 200, —30 и 280 (э.з.) см<sup>-3</sup>] выдвигают ряд измерений в г. Тарту, так как систематические повторные измерения плотности объемного заряда нигде больше не проводились. В результате анализа данных длительных систематических

измерений намечено естественное подразделение спектра ионов в зависимости от знака среднего объемного заряда.

6. Отдельные оценки, вытекающие из общих физических соображений, не были замечены раньше и получены в результате анализа измерений 1961—1962 и 1951 гг. Например, применение коэффициента альтернативности  $A$ , введенного автором для сравнения статистических рядов, показывает, что а) корреляционные связи между метеорологическими элементами и концентрациями тяжелых ионов ( $N_2$ ) оказались устойчивее соответствующих связей с легкими ионами ( $p_2$ ); б) в качестве границы между легкими и тяжелыми ионами можно принять значение  $k = 0,5 \text{ см}^2/\text{сек} \cdot \text{в}$ , что подтверждает и ряд других оценок. Подгруппа молионов ( $k = 2,5 \text{ см}^2/\text{сек} \cdot \text{в}$ ) обладает в среднем почти нулевым, а подгруппа легких ионов ( $2,5 > k \geq 0,5 \text{ см}^2/\text{сек} \cdot \text{в}$ ) обладает положительным объемным зарядом. Подразделение спектра ионов на группы по величине и знаку плотности объемного заряда дает новые, физически обоснованные основы классификации ионов. Эти результаты не могут быть предсказаны заранее и оказываются неожиданными в свете обычных представлений об условности деления спектра ионов на группы с подвижностями  $k \geq 1,0$ ,  $k \geq 0,1$  и т. д., сложившиеся еще у крупнейших специалистов [П. Н. Тверской, Х. Израэль].

Получены данные, характеризующие спектр относительных амплитуд (отношение разности экстремальных концентраций и соответствующих средних) колебаний концентрации атмосферных ионов для следующих квазипериодов: 10 лет, год, сутки и 10 минут. Амплитуды колебаний с годовым и суточным периодами получаются больше (от 0,4 до 0,9) и с 10-летним и 10-минутным периодами меньше (от 0,1 до 0,2).

8. Годовые колебания концентрации легких ионов в общих чертах синфазны колебаниям температуры, видимости, суточной продолжительности солнечного сияния и противофазны колебаниям относительной влажности, показателям состояния почвы и концентрации тяжелых ионов ( $N_2$ ). Наиболее характерной особенностью является противоположное поведение концентрации легких и тяжелых ионов.

9. За десять лет (с 1951 по 1961—1962 гг.) по измерениям в г. Тарту концентрация молионов возросла приблизительно на 20%, легких ионов почти не изменилась, а концентрация тяжелых ионов снизилась в 1961 г. почти на 20%. В соседние годы (1961—1962 гг.) концентрация тяжелых ионов изменилась мало (особенно в весенне-летний период). Очень устойчивыми оказались средние значения параметра  $M = \frac{n_2^+ + n_2^-}{2} \cdot \frac{N_2^+ + N_2^-}{2} (2,0 \cdot 10^6, 2,1 \cdot 10^6 \text{ и } 2,3 \cdot 10^6 \text{ см}^{-6} \text{ соответственно для } 1951, 1961 \text{ и } 1962 \text{ гг.})$ . Если сравнить коэффициенты корреляции концентрации ионов и метеорологических элементов, вычисленных в 1960—1962 гг., с

коэффициентами 1951 г., то оказывается, что в 50% случаев за 10 лет произошло мало изменений ( $|r - r_1| \leq 0,10$ ), в 36% случаев сохранялся знак коэффициента и в 14% случаев знак коэффициента менялся.

10. В годовом ходе на холодные месяцы приходятся максимум концентрации тяжелых ( $N_2$ ), полутяжелых ( $N_1$ ) и средних ( $N_0$ ) ионов (ноябрь, январь, март) и минимум концентрации молионов ( $p_1$ ) и легких ионов ( $p_2$ ) (январь, февраль март). Летом и весной отмечаются минимум концентрации всех групп ( $N_2, N_1, N_0$ ) тяжелых ионов (июль, август) и максимум концентрации всех групп ( $p_2, p_1$ ) легких ионов (май, июнь). За весь период измерений (1961—1963 гг.) наибольшая концентрация легких ионов наблюдалась в июне 1963 г., когда была наибольшей и продолжительность солнечного сияния. Наиболее существенной особенностью годового хода плотности объемного заряда  $q$  является отсутствие сентябрьского минимума, которому по данным очень небольшого числа пунктов, где производились систематические измерения (менее 10 на всем земном шаре), приписывалось ранее универсальное значение.

11. Суточный ход ионизации атмосферы характеризуется сравнительно резкими колебаниями в течение первой половины суток. Максимумы концентраций легких ионов и молионов приходятся обычно на 1 час ночи, а минимумы на 7 часов утра, противоположный ход имеют в целом концентрации тяжелых, промежуточных и средних ионов. Главный утренний минимум концентрации легких ионов и максимум концентрации тяжелых ионов в 7 часов совпадают по времени с началом топки печей, когда предутренняя инверсия способствует накоплению ядер в приземном слое воздуха. В течение первой половины суток наблюдаются также небольшие колебания коэффициента униполярности легких ионов (максимум в 4 часа, минимум в 10 часов) и плотности объемного заряда (минимум в 4 часа, максимум в 10 часов). На вторую половину суток приходятся только вторичные максимумы и минимумы различных характеристик ионизации атмосферы.

12. В результате одновременных измерений ионизации атмосферы на том же месте с помощью двух счетчиков с самописцами обнаружены реальные короткопериодические колебания (с квазипериодами менее часа) концентрации ионов, имеющие обычно сравнительно малые амплитуды. При резком уменьшении или увеличении облачности кривые, зарегистрированные обоими счетчиками, синхронно повышаются и понижаются. Очень похожие колебания (с относительными амплитудами 0,1—0,5 и частотами 2—4 час) наблюдались также на расстоянии 3,5 км от основного пункта измерений при прохождении фронтов, вызывающих резкое изменение облачности, и при дальней грозе. Сходство кривых обусловлено тем, что в это время общие фак-



торы (облачность, гроза, фронты и т. д.) сильнее влияют на ионизацию атмосферы, чем локальные возмущения. Однако локальные возмущения в городе и за городом нередко приводят к расхождениям по амплитуде, частоте и среднему уровню колебаний. Действие облачности проявляется как за счет собственных электрических полей облаков, так и в результате изменения напряженности электрического поля Земли.

13. Электрические (ионизационные) характеристики атмосферы тесно связаны с важной неэлектрической характеристикой — концентрацией аэрозолей, прямая непрерывная регистрация которой затруднительна. Результаты расчета концентрации аэрозолей по данным систематических измерений концентрации тяжелых ионов ( $N_2$ ) в г. Тарту хорошо согласуются с величинами, измеренными с помощью счетчика Шольца в пунктах, где отсутствуют заметные нарушения естественных условий. Средние годовые значения концентрации аэрозолей в г. Тарту равнялись соответственно  $25,4 \cdot 10^5 \text{ см}^{-3}$  (в 1961 г.) и  $27,1 \cdot 10^5 \text{ см}^{-3}$  (в 1962 г.)

14. На основе сравнения среднемесячных значений метеорологических элементов, измеренных в течение 3 лет на станциях а) Актинометрическая лаборатория ИФА АН ЭССР, б) Гидрометеослужба ЭССР г. Тарту, в) Главное здание ТГУ (в течение 2 лет), можно заключить, что метеорологическая обстановка г. Тарту описывается станциями а) и б) достаточно полно и надежно.

15. Связь между концентрацией ионов и метеорологическими элементами имеет в большинстве случаев косвенный характер. Для установления корреляционной связи использованы наблюдения трех имеющихся метеостанций. По данным измерений 1960—1962 гг. были вычислены 88 коэффициентов линейной корреляции для 11 метеорологических элементов и 16 оценок изменения концентрации ионов в зависимости от направления ветра. Абсолютные значения 45 коэффициентов лежат в пределах от 0,11 до 0,35, т. е. больше порога достоверности ( $r=0,11$  при вероятности нуль-гипотезы 0,05).

Концентрация легких ионов ( $n_2$ ) заметно коррелирует с метеорологическими элементами; положительно — с видимостью, интенсивностью прямой солнечной радиации, скоростью ветра, температурой (зима), отрицательно — с относительной влажностью, интенсивностью туманов, показателем состояния почвы, упругостью водяного пара (лето), количеством нижней облачности (зима). Концентрация тяжелых ионов ( $N_2$ ) коррелирует положительно с атмосферным давлением, показателем состояния почвы (зима), интенсивностью туманов (лето) и отрицательно — со скоростью ветра, упругостью водяного пара, температурой, количеством нижней облачности и показателем состояния почвы (лето)



16. Выводы о характере зависимости концентрации легких и тяжелых ионов ( $n_2, N_2$ ) от метеорологических элементов, полученные по всему материалу в целом, подтверждаются результатами более детального анализа, при котором данные были сгруппированы в зависимости от направления ветра (по 8 румбам и штилю) и для каждой группы в отдельности производилось сопоставление значений  $n_2$  с семью, а значение  $N_2$  — с двумя метеорологическими элементами. Полученные соотношения подтверждаются также анализом данных непрерывной регистрации положительных средних ионов (проводившейся в 1962 г. ежемесячно в течение 4 суток). Согласованность результатов, полученных различными методами, указывает на достоверность связей, основанных на статистических средних. По имеющимся данным, подобные детальные анализы сделаны впервые для г. Тарту в настоящей работе. Корреляционные связи между концентрациями различных групп ионов и метеорологическими элементами дают принципиальную возможность на основе всего комплекса метеорологических элементов оценить по данным наблюдений метеорологических станций средние значения концентрации ионов для отдельных типов погоды.

17. Вследствие важности комплексных характеристик для гигиенических работ автором предложена рациональная схема типизации погоды, имеющей место в условиях Эстонской ССР. Основными категориями для выбора типа служат общая барическая характеристика и относительная продолжительность солнечного сияния. При типе погоды 4 (приближение циклона) наблюдалась пониженная концентрация легких ионов ( $n_2$ ), а наиболее высокие значения за весь период измерений отмечались при самом солнечном типе 3 ( $s > 0,6$ ). Типы 1, 2, 3 связаны с повышенной, а типы 4 и 5 с пониженной концентрацией тяжелых ионов ( $N_2$ ).

18. Полученные результаты подтверждают важность комплексных гигиенических исследований, так как биологическое влияние атмосферной ионизации нельзя изучать изолированно от других климатических факторов. По статистике 1960—1963 гг. в г. Тарту смертность и заболеваемость понижаются в летние месяцы при большей продолжительности солнечного сияния и повышенной концентрации легких ионов.

19. Ионизационные характеристики атмосферы достаточно резко изменяются в зависимости от степени загрязнения воздуха. Данные о стабильности параметра  $M = nN$  в течение 3 лет, 1951, 1961 и 1962 гг., подтверждают возможность использования концентрации тяжелых ионов ( $N_2$ ) в качестве показателя загрязнения воздуха  $\left(c = \frac{N}{n} = \frac{N_2}{M}\right)$ , а легких ионов ( $n_2$ ) — в качестве показателя чистоты воздуха  $\left(c = \frac{N}{n} = \frac{M}{n^2}\right)$

20. Значительные колебания загрязненности воздуха возможны даже в небольших городах без крупных промышленных объектов (типа г. Тарту), поэтому сравнительно хорошие средние гигиенические условия не могут служить основанием для исключения из плана гигиенических мероприятий. Продолжительность и частота нарушений нормальных условий в г. Тарту меняются в широких пределах — от целого сезона (холодная зима 1951 г.), когда концентрация тяжелых ионов была значительно повышена, вероятно, в связи с усиленной топкой печей, до отдельных дней и часов. Концентрация тяжелых ионов повышена при юго-восточном ветре, дующем со стороны густонаселенного района города, а понижена при ветре, дующем со стороны парка Тоомемяги; в последнем случае концентрация легких ионов сильно повышена.

21. В городских условиях воздух загрязняется меньше всего ночью. Концентрация тяжелых ионов  $N_2$ , измеренная в г. Тарту в 1 час, мало изменялась в течение всего года и из года в год (колеблясь в пределах от 2000 до 3000  $см^{-3}$ ) и может поэтому считаться типичной для малозагрязненного естественного воздуха. Одним из показателей загрязнения городского воздуха является отношение суммы концентрации тяжелых ионов  $N_2$ , измеренных днем (в 7, 13 и 19 часов), к сумме базисной концентрации  $N_2$  ионов обоих знаков, измеренных в 1 час ночи. Аналогичный показатель чистоты воздуха может быть вычислен также по соотношению суммы концентраций легких ( $n_2$ ) ионов.

22. Для обеспечения гигиеничности (чистоты) воздуха городов отопление всех домов в центре города необходимо проводить от больших теплоцентралей, высокие трубы которых снабжены электростатическими фильтрами. Необходимость равномерного размещения парков и скверов при планировке новых городов и районов подтверждается их благоприятным влиянием на чистоту воздуха.

23. В ежедневные прогнозы, сообщаемые Гидрометеослужбой, следует включить предупреждение о вероятности больших изменений атмосферного давления (2,5 и более мб за 6 часов) для медицинской профилактики в клиниках и санаториях.

24. При проводимых в курортологии и медицине исследованиях влияния климата на человека (для профилактики и терапии) нужно учитывать, кроме метеорологических элементов, также ионизацию атмосферы, атмосферно-электрические явления (атмосфе́рики) и атмосферные аэрозоли (ядра).

25. Работа медиков ТГУ с аппаратурой, сконструированной физиками ТГУ, показала благоприятное действие отрицательных аэроионов и электроаэрозолей на живой организм, что оправдывает применение их для лечебных целей. Основательно необходимо изучать еще механизм биологического действия электрических зарядов.

# ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица 1

Годовой ход ежемесячных средних концентраций ионов (см<sup>-3</sup>).  
Молионы (n<sub>1</sub>), легкие (n<sub>2</sub>, n<sub>3</sub>) и средние ионы (n<sub>4</sub>),  
измеренные с VIII 1960 по VII 1963 г.

Время	Концентрация ионов (см <sup>-3</sup> )											
	k ≥ 2,5		k ≥ 1,0		q <sub>1</sub> = $\frac{n_1^+}{n_1^-}$	k ≥ 0,5		k ≥ 0,1		q <sub>2</sub> = $\frac{n_2^+}{n_2^-}$	k ≥ 0,05	
	n <sub>0</sub> <sup>+</sup>	n <sub>0</sub> <sup>-</sup>	n <sub>1</sub> <sup>+</sup>	n <sub>1</sub> <sup>-</sup>		n <sub>3</sub> <sup>+</sup>	n <sub>3</sub> <sup>-</sup>	n <sub>2</sub> <sup>+</sup>	n <sub>2</sub> <sup>-</sup>		n <sub>4</sub> <sup>+</sup>	n <sub>4</sub> <sup>-</sup>
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1960												
VIII	180	160	300	270	1,11	390	330	520	410	1,27	590	500
IX	140	130	290	240	1,21	390	310	510	420	1,21	610	510
X	110	120	250	230	1,09	340	280	470	410	1,15	560	480
XI	110	120	210	200	1,05	290	240	390	340	1,15	470	400
XII	130	130	260	230	1,13	340	280	430	370	1,16	530	430
1960												
VIII—XII	130	130	260	230	1,13	350	290	460	390	1,18	550	470
1960												
Число измерений	312	332	332	333	—	333	332	333	331	—	326	326
Число измерений в 1960 г.: n <sup>+</sup> =1636, n <sup>-</sup> =1654												
1961												
I	120	110	220	190	1,16	300	220	400	330	1,21	490	410
II	110	120	220	210	1,05	290	240	400	350	1,14	490	420
III	140	150	290	270	1,07	380	330	530	490	1,08	610	570
IV	140	120	280	230	1,22	370	290	570	520	1,10	670	620
1960/61												
Холодн. п. г.	120	130	250	220	1,14	330	260	450	390	1,15	540	470
1961												
V	160	180	320	310	1,03	450	400	650	600	1,08	740	690
VI	180	190	380	340	1,12	520	440	640	580	1,10	740	670
VII	130	140	270	240	1,12	360	320	500	450	1,11	590	530
VIII	150	160	320	300	1,07	420	350	560	490	1,14	660	590
IX	140	150	290	260	1,12	390	310	510	450	1,13	570	520
X	120	110	250	200	1,25	320	250	460	390	1,15	560	490
1961												
Тепл. п. г.	150	150	310	270	1,15	410	350	550	500	1,10	650	580

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1961												
XI	160	140	310	260	1,19	400	310	530	430	1,23	570	500
XII	140	140	290	260	1,12	380	320	500	450	1,11	590	550
1961	140	140	290	250	1,16	380	320	520	460	1,13	610	550
1961 Число изм.	805	817	819	814	—	820	811	810	808	—	816	808

Число измерений в 1961 г.:  $n^+ = 4070$ ,  $n^- = 4058$

1962												
I	130	150	270	250	1,08	350	300	480	420	1,14	550	510
II	110	140	230	210	1,10	310	260	480	420	1,14	580	510
III	80	110	170	160	1,06	230	210	450	430	1,05	620	590
IV	170	200	290	280	1,04	310	300	670	630	1,06	810	760

1961/62 Холодн. п. г.												
	130	150	260	240	1,08	330	280	520	460	1,13	620	570

1962												
V	170	210	330	320	1,03	390	350	690	610	1,13	830	750
VI	210	210	440	370	1,19	560	460	710	660	1,07	750	750
VII	150	170	370	310	1,19	500	360	610	520	1,17	700	660
VIII	200	170	410	300	1,37	490	370	610	540	1,13	680	650
XI	150	170	300	260	1,15	390	310	540	480	1,12	640	610
X	150	150	320	270	1,18	400	310	550	450	1,22	630	540

1962 Тепл. п. г.												
	170	180	360	300	1,20	450	360	620	540	1,15	710	660

1962												
XI	130	140	210	190	1,11	310	280	430	380	1,13	530	480
XII	130	160	280	240	1,17	360	360	500	420	1,19	600	520

1962	150	170	300	260	1,15	380	320	560	500	1,12	660	610
------	-----	-----	-----	-----	------	-----	-----	-----	-----	------	-----	-----

1962 Число изм.	769	795	781	795	—	773	787	793	798	—	788	788
--------------------	-----	-----	-----	-----	---	-----	-----	-----	-----	---	-----	-----

Число измерений в 1962 г.:  $n^+ = 3904$ ,  $n^- = 3963$

1963												
I	110	160	200	200	1,00	320	270	510	460	1,11	650	610
II	120	150	210	180	1,17	270	230	450	400	1,13	610	570
III	120	160	210	200	1,05	280	240	500	480	1,04	690	650
IV	120	140	220	190	1,16	300	260	520	460	1,13	690	630

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1962/63 Холодн. п. г.	120	150	220	200	1,10	300	260	490	440	1,11	640	590
1963 V	160	200	330	310	1,06	430	380	610	570	1,05	800	640
VI	250	290	530	490	1,08	680	580	860	770	1,12	970	880
VII	220	260	440	410	1,07	560	480	720	650	1,11	800	740
1963 I—VII	160	200	310	280	1,11	400	350	600	540	1,11	740	640
1963 Число изм.	842	851	849	850	—	848	844	857	849	—	832	824

Число измерений всего в 1963 г.:  $n^+ = 4228$ ,  $n^- = 4218$

Таблица 2

Годовой ход ежемесячных средних концентраций ионов ( $\text{см}^{-3}$ ).  
Тяжелые ( $N_2$ ) и полутяжелые и средние ( $N_1$ ) и средние ( $N_0$ ) ионы,  
измеренные с VIII 1960 по XII 1962 г.

Время	Концентрация ионов ( $\text{см}^{-3}$ )							
	$0,1 > k \geq 0,01$		$0,1 > k \geq 0,001$		$Q_1 = \frac{N_1^+}{N_1^-}$	$0,1 > k \geq 0,00025$		$Q_2 = \frac{N_2^+}{N_2^-}$
	$N_0^+$	$N_0^-$	$N_1^+$	$N_1^-$		$N_2^+$	$N_2^-$	
	1	2	3	4	5	6	7	8
1960								
VIII	530	650	2210	2230	0,99	4490	5040	0,89
IX	550	700	2580	2570	1,0	4480	4640	0,97
X	470	620	2660	2890	0,92	4850	5090	0,95
XI	780	720	3170	2800	1,13	5710	5130	1,11
XII	450	510	2580	2610	0,99	5440	5170	1,05
1960	560	640	2650	2640	1,0	5010	5020	1,02
1960 Число изм.	342	334	335	323	—	334	327	—

Число измерений в 1960 г.  $n^+ = 1011$ ,  $n^- = 984$

	1	2	3	4	5	6	7	8
1961								
I	550	600	3240	3170	1,02	5900	5900	1,00
II	470	530	2750	2440	1,13	5180	5130	1,01
III	520	580	2290	2410	0,95	4190	4270	0,98
IV	620	660	3220	3240	0,99	5130	5440	0,94
1960/61 Холодн. п. г.	560	600	2870	2760	1,04	5250	5170	1,02
1961								
V	550	760	2740	2810	0,98	4370	4860	0,90
VI	540	730	2110	2300	0,92	4060	4490	0,91
VII	880	840	1950	1820	1,07	3310	3270	1,01
VIII	420	470	1670	1460	1,14	2910	2940	0,99
IX	590	650	2160	2140	1,01	2960	2940	1,01
X	580	580	2110	1970	1,07	3280	3280	1,00
1961 Тепл. п. г.	590	670	2120	2080	1,02	3510	3660	0,96
1961								
XI	400	480	1620	1760	0,92	3060	3050	1,01
XII	650	610	2600	2750	0,95	5410	5280	1,03
1961	570	620	2390	2360	1,01	4190	4280	0,98
1961 Число изм.	833	827	813	807	—	796	807	—

Число измерений в 1961 г.:  $n^+ = 2442$ ,  $n^- = 2441$

1962								
I	450	530	2100	2150	0,98	4690	4290	1,09
II	560	700	2690	2430	1,11	4780	4560	1,05
III	790	860	3660	3690	0,99	6930	7020	0,99
IV	800	790	2720	2740	0,99	4630	4370	1,06
1961/62 Холодн. п. г.	600	660	2590	2580	1,0	4920	4780	1,03
1962								
V	610	600	2070	2150	0,96	3670	3640	1,01
VI	490	420	1290	1160	1,11	3420	3160	1,08
VII	470	480	1680	1500	1,12	2990	2660	1,12
VIII	420	400	1410	1380	1,02	3880	3590	1,08
IX	580	550	2310	2070	1,11	3580	3440	1,04
X	630	580	2470	2350	1,05	4440	4270	1,04
1962 Тепл. п. г.	530	500	1870	1760	1,06	3670	3460	1,05

	1	2	3	4	5	6	7	8
1962 XI XII	670 530	640 570	3870 2600	3720 2370	1,03 1,11	7790 4900	7810 4260	1,01 1,15
1962	580	590	2400	2300	1,04	4630	4410	1,05
1962 Число изм.	703	708	707	706	—	698	685	—
Число измерений в 1962 г.: $n^+ = 2168$ , $n^- = 2099$								

Таблица 3

Спектры  $\alpha$ -молионов и  $\beta$ -промежуточных ионов.  
Среднемесячные концентрации и подвижности с VIII 1960 по XII 1962 г.

Время	Концентрации ( $\text{см}^{-3}$ )						Подвижности, $\text{см}^2/\text{сек} \cdot \text{в}$			
	$n_{\alpha}^+$	$n_{\alpha}^-$	$n_{\beta}^+$	$n_{\beta}^-$	$n_{\alpha}^+ + n_{\beta}^+$	$n_{\alpha}^- + n_{\beta}^-$	$k_{\alpha}^+$	$k_{\alpha}^-$	$k_{\beta}^+$	$k_{\beta}^-$
1960 VIII IX X XI XII	220 180 170 140 180	210 190 190 160 180	170 — 200 150 170	120 — 140 100 120	390 180 370 290 350	330 190 330 260 300	1.89 1.46 0.94 1.47 1.27	1.63 1.80 1.51 2.20 1.37	0.33 0.32 0.27 0.53 0.46	0.76 0.30 0.29 0.35 0.44
1960 VIII—XII	180	190	130	100	310	290	1,37	1,71	0,38	0,41
1961 I II III IV	150 150 200 200	190 160 190 170	170 140 250 270	100 130 240 180	320 290 450 470	290 290 430 350	1.68 1.46 1.36 1.43	1.82 1.76 1.90 1.49	0.34 0.41 0.32 0.31	0.37 0.30 0.28 0.31
1960/61 Холодн. п. г.	170	180	190	140	360	320	1,45	1,78	0,40	0,34
1961 VI VII VIII IX X	190 250 140 250 200 170	220 260 140 240 190 160	360 310 190 240 230 180	310 290 160 160 180 140	550 560 330 490 430 350	530 550 300 400 370 300	1.76 1.27 1.70 1.08 1.26 1.32	1.97 1.87 1.49 1.51 1.58 1.60	0.38 0.42 0.40 0.36 0.38 0.42	0.36 0.36 0.41 0.24 0.22 0.25

Время	Концентрации (см <sup>-3</sup> )						Подвижности см <sup>2</sup> /сек в			
	n <sub>α</sub> <sup>+</sup>	n <sub>α</sub> <sup>-</sup>	n <sub>β</sub> <sup>+</sup>	n <sub>β</sub> <sup>-</sup>	n <sub>α</sub> <sup>+</sup> + n <sub>β</sub> <sup>+</sup>	n <sub>α</sub> <sup>-</sup> + n <sub>β</sub> <sup>-</sup>	k <sub>α</sub> <sup>+</sup>	k <sub>α</sub> <sup>-</sup>	k <sub>β</sub> <sup>+</sup>	k <sub>β</sub> <sup>-</sup>
1961 Тепл. п. г.	200	200	250	200	450	400	1,42	1,67	0,39	0,30
XI	220	200	260	190	480	390	1,51	1,74	0,35	0,41
XII	190	190	240	170	430	360	1,43	1,73	0,40	0,26
1961	190	190	240	180	430	370	1,49	1,74	0,38	0,31
1962 I	190	210	220	130	410	340	1,31	1,79	0,35	0,45
II	140	180	230	170	370	350	1,38	2,06	0,39	0,29
III	90	110	190	160	280	270	1,25	2,26	0,27	0,15
IV	260	250	280	230	540	480	1,51	2,10	0,01	0,06
1961/62 Холодн. п. г.	180	190	240	180	420	370	1,43	2,01	0,35	0,27
V	280	280	270	210	550	490	1,35	1,94	0,13	0,15
VI	340	270	370	280	710	550	1,44	1,90	0,32	0,31
VII	270	240	280	140	550	380	1,11	1,63	0,34	0,37
VIII	330	220	210	230	540	450	1,36	1,88	0,34	0,26
IX	220	190	220	150	440	340	1,35	1,73	0,24	0,47
X	250	210	210	160	460	370	1,21	1,70	0,62	0,13
1962 Тепл. п. г.	280	240	260	190	540	430	1,31	1,80	0,33	0,31
XI	120	120	230	160	350	280	1,57	2,79	0,26	0,15
XII	200	130	210	200	410	330	1,37	2,16	0,19	0,58
1962	220	200	240	180	460	380	1,32	1,99	0,31	0,38
1961 и 1962 Среднее	205	195	240	180	445	375	1,41	1,87	0,35	0,35



## ЛИТЕРАТУРА

1. Биометеорология. Избранные труды II международного биоклиматологического конгресса (Лондон, 1960 г.). Л., Гидрометеиздат, 1965.
2. Брукс, К., Карузерс, Н., 1963. Применение статистических методов в метеорологии. Л., Гидрометеиздат.
3. Васильев, Л. Л., 1953. Теория и практика лечения ионизированным воздухом, изд. II Л., изд-во Ленингр. ун-та.
4. Вопросы климатопатологии в клинике сердечно-сосудистых заболеваний. Под ред. Г. М. Данишевского. М. Медгиз, 1961.
5. Деляну, М., 1960. Ионизация как показатель интенсивности загрязнения атмосферного воздуха и зонирования промышленных центров. — «Гигиена и санитария», 10, 42—46.
6. Климат и сердечно-сосудистая патология. Труды II научной конф. Ин-та терапии АМН СССР по вопросам климатопатологии сердечно-сосудистых заболеваний. Под ред. Г. М. Данишевского. Л., Медицина, 1965.
7. Койранский, Б. Б., 1965. К вопросу о гигиеническом значении ионизации воздуха приземных слоев атмосферы. Второе научн. совещ. по пробл. мед. географии. Л., 73—74.
8. Кондратьев, К. А., 1954. Лучистая энергия солнца. Л.
9. Марран, Х., 1958. Об исследовании связей между плотностью атмосферных ионов и метеорологическими элементами (на эст. яз., резюме на русск. яз.). Уч. зап. ТГУ, 59, 108—136.
10. Махонько, К. П., 1963. О характере спектра размеров частиц радиоактивной пыли естественного происхождения. — Изв. АН СССР, сер. геофиз. 1, 183—187.
11. Махоткин, Л. Г., Сушинский, Б. Л. 1960. Плотность объемного заряда в Сестрорецке. Тр. Гл. геофиз. observ., 110, 33—39.
12. Махоткин, Л. Г., 1963. Электрические факторы чистоты воздуха. Тр. Гл. геофиз. observ., 146, 48—52.
13. Минх, А. А., 1963. Ионизация воздуха и ее гигиеническое значение, изд. 2. М., Медгиз.
14. Пастух, Н. В., 1968. Некоторые результаты измерения концентрации ядер конденсации в естественных условиях. Тр. Гл. геофиз. observ. 207, 104—109.
15. Портнов, Ф. Г., 1961. Медицинская характеристика климата Рижского взморья. Тр. ин-та Экспериментальной медицины. — «Вопросы курортологии», Рига, 6, 97—107.
16. Прюллер, П. К., Сакс, О. В., Рийв, Я. Я., 1963а. Ионизация атмосферы и метеорологические факторы гор. Тарту (ЭССР) с августа 1960 г. по декабрь 1962 г. и их гигиеническое значение. — Материалы научн. конф. по пробл.: «Аэроионизация в гигиене труда». Л., 116—117.
17. Прюллер, П. К., Рейнет, Я. Ю., Сакс, О. В., 1963б. Краткий обзор исследовательской работы в области аэроионизации и электроаэрозоль в Тартуском государственном университете. — Тр. Ленингр. общества естествоиспытателей. Изд-во Ленингр. ун-та. Л., 74, 1. 97—100.
18. Прюллер, П. К., Рийв, Я. Я., 1963в. О влиянии аэроионизации и других метеорологических факторов на заболеваемость. — Тезисы докл. 6 респ. научн. конф. по курортологии и физиотерапии в Пярну. Таллин, 47—48.
19. Прюллер, П., Рийв, Я., 1963 г. О связях ионизации атмосферы и других метеорологических факторов с заболеваемостью и смертностью. Уч. зап. ТГУ, 134, 50.
20. Прюллер, П., Рийв, Я., 1965. Медицинское значение метеорологических элементов и типов погоды. Уч. зап. ТГУ, 178, 27—35.
21. Прюллер, П., 1966 а. Ионизация атмосферного воздуха и ее гигиеническое и курортологическое значение. Материалы 7 Эстонской республиканской научн. конф. по курортологии и физиотерапии. Пярну, 145—148.

22. Прюллер, П. К. Сакс, О. В., Рийв, Я. Я., 1966 б. Ионизация атмосферы и метеорологические элементы в г. Тарту с августа 1960 г. по июль 1963 г. и их гигиеническое значение. В сб.: «Аэроионизация в гигиене труда». Л., 195—198.

23. Райк, А., 1963. О применении косвенной характеристики радиационного режима при типизации погод. Уч. зап. ТГУ, 144, 23—32.

24. Рейнет, Я. Ю., 1955. Комбинированный счетчик атмосферных ионов. — АН СССР, Ин-т технико-экономической информации, М., тема 4, № ПС-55-409, 1—17.

25. Рейнет, Я. Ю., 1956. Комбинированный счетчик атмосферных ионов. Тр. Гл. геофиз. обсерв., 58 (120), 23—30.

26. Рейнет, Я. Ю., 1958. Об изменениях ионизации атмосферы в г. Тарту. — Автореф. канд. физ.-мат. наук, Тарту. (ТГУ). Библ. 16 назв.

27. Рейнет, Я., 1958. Об изменениях ионизации атмосферы в г. Тарту в течение годовичного периода (на эст. яз., резюме на русск. яз.). Уч. зап. ТГУ, 59, 71—103.

28. Рейнет, Я., 1959. Характеристики плотностей легких ионов (на эст. яз., резюме на русск. яз.). — «Лоодус я матемаатика» (Природа и математика). Таллин, 1, 93—122.

29. Рейнет, Я. Ю., Прюллер, П. К., Сакс, О. В., 1963. О научно-исследовательских работах в области естественной и искусственной аэроионизации и электроаэрозолей в Тартуском государственном университете. Уч. зап. ТГУ, 140, 3—15.

30. Сакс, О., 1956. Автоматически действующий фотографический счетчик ионов (на эст. яз., резюме на русск. яз.). Уч. зап. ТГУ, 42, 84—93.

31. Сакс, О. В., 1963. О конструкции динамического конденсатора для счетчиков атмосферных ионов. Тр. всес. научн. метеорологического совещания, т. 9. Л., Гидрометеиздат, 303—306.

32. Селезнева, Е. С., 1966. Атмосферные аэрозоли (ядра конденсации) Л., Гидрометеиздат.

33. Сийрде, Э. К., 1966. О трудах по аэроионизации, аэрозолям и электроаэрозолям, выполненных на медицинском факультете ТГУ В сб.: «Итоги научной работы по медицине в Тартуском гос. университете за 1940—1965 гг.» — Уч. зап. ТГУ, 191, 234—251. Библ. 76 назв.

34. Стыро, Б. И., 1959. Вопросы ядерной метеорологии. Вильнюс. АН Лит. ССР.

35. Таммет, Х. Ф., 1967. Аспирационный метод измерения спектра аэроионов. Уч. зап. ТГУ, 195.

36. Тверской, П. Н., 1949. Атмосферное электричество. Л., Гидрометеиздат.

37. Тверской, П. Н., 1962. Курс метеорологии (физика атмосферы). Л., Гидрометеиздат.

38. Фукс, Н. А., 1955. Механика аэрозолей. М., изд-во АН СССР.

39. Фукс, Н. А., 1964. О стационарном распределении зарядов аэрозольных частиц в биполярно ионизированной атмосфере. Изв. АН СССР, сер. геофиз., 4, 579—586.

40. Холодов, Ю. А., 1966. Влияние электромагнитных и магнитных полей на центральную нервную систему. М., изд-во «Наука».

41. Цванг, Л. Р., Комаров, Н. Н., 1959. Исследование спектра легких ионов в свободной атмосфере. Изв. АН СССР, сер. геофиз., 8, 1167—1176.

42. Цимахович, Н. П., 1967. Солнце — великий дирижер. Вместо чисел Вольфа — радиопоток. В сб. «Солнечная активность и жизнь». Рига-изд-во «Зинатне», стр. 25—52, 65—69.

43. Цимахович, Н. П., 1968. Большие радиовсплески Солнца. Рига, изд-во «Зинатне».

44. Чубуков, Л. А., 1949. Комплексная климатология. М., изд. АН СССР.

45. Шварева, Ю. Н., 1963. К вопросу о радиационной характеристике важнейших классов местной погоды. В кн.: Вопросы комплексной климатологии, изд. АН СССР, ин-т геогр. М., 49—56.

46. Шмидт, А., 1951. Классификация типов погоды для медицинской оценки атмосферной среды. В кн.: Изыскание и использование курортных ресурсов. Л.
47. Юнге, Х., 1965. Химический состав и радиоактивность атмосферы. Перевод с англ. М., изд-во «Мир».
48. Assmann, D., 1963. Die Wetterfühligkeit des Menschen. Jena, VEB, Gustav Fischer Verlag.
49. Brezowsky, H., 1965. Die Abhängigkeit des Herzinfarkts von Klima, Wetter und Jahreszeit. Arch. d. Kreislaufforsch., 47, 159—188.
50. Davis, I. A., 1960. A correlation analysis of the relationship between weather variables and atmospheric radioactivity. Health Physics, 4, 55—61.
51. Gadomski, J., 1964. Wptyw falloutu na elementy elektrycznosc atmosferycznej w Swidrze. Przegląd Geofizyczny, 9, (17), 3—4, 227—242.
52. Israel, H., 1947. Atmosphärische Elektrizität, T. I., Leipzig, Akad. V-G. Geest & Portig K. G.
53. Israel, H., 1958 a. The atmospheric electric agitation. — Recent Advances in Atmospheric electricity. Proc. sec. conf. atmosph. electricity. Pergamon Press, p. 149—160.
54. Israel, H., 1958 b. Die luftelektrische Unruhe. — Z. Geophysik, 24, 277—283.
55. Israel, H., 1958c. Recherches récentes en électricité atmosphérique. Mesures pendant l'Année Geophysique Internationale. La Météorologie, IV 51—58. 161—190.
56. Israel, H., 1961. Atmosphärische Elektrizität, I. II, Leipzig, Akad. V-G. Geest & Portig K. G.
57. Junge, Chr., 1955. The size distribution and aging of natural aerosols as determined from electrical and optical data on the atmosphere. J. Meteorology, 12, 1, 13—25.
58. Kornbluh, I. H., 1960. Electric space charges and human health. Bull. Amer. Meteorol. Society, 41, 7, 361—367.
59. McDonald, I. E., 1960. Remarks on correlation methods in geophysics. Tellus, 12, 2, 176—183.
60. Misaki, M., 1961. Studies on the atmospheric ion spectrum I and II. Papers Meteorol. and Geophys., 3—4, 247—260, 261—276.
61. Misaki, M., Kanazawa, J., 1968. Some features of dynamic spectra of atmospheric ions. Tokio.
62. Prüller, P., Reinet, J., 1966. Long-term investigations of atmospheric ionisation in Tartu, Estonian SSR. Int. J. Biometeorology, 10, 2, 127—133.
63. Reiter, R., 1960. Meteorobiologie und Elektrizität der Atmosphäre. Leipzig. Akad. V-G. Geest & Portig K-G.
64. Sheppard, P. A., 1932. Character of atmospheric ionisation. — Nature, 129, 169.
65. Siksnas, R., 1952. Measurements of large ions in the atmospheric air at Uppsala. Arkiv geofys., 1, 18, 483—518.
66. Siksnas, R., 1953. Mobility of small atmospheric ions in the air from the ground at Uppsala. J. Atmos. and Terr. Phys., 4, 106—111.
67. Simon, A., 1966. A közepes-es nagy-jonok koncentrációja. Időjárás, 70, 2, 100—105.
68. Ungeheuer, H., 1955. Ein meteorologischer Beitrag zu Grundproblemen der Medizin-Meteorologie. Berichte des Deutschen Wetterdienstes, 3, 16, 1—32.
69. Yunker, E. A., 1940. The mobility-spectrum of atmospheric ions. Terr. Magn. and Atmos. Electricity, 45, 2, 127—132.
70. Zink, O., Kuhnke, W., 1952. Die biologische Bedeutung der langwelligen Hochfrequenzstrahlung der Atmosphäre. Schweiz. med. Wocheschr., 82, 45, 1168—1172.

Поступила 1/III 1969 г.

# ATMOSFÄÄRI-IOONIDE SPEKTRITE UURIMUS, ATMO- SFÄÄRI-IONISATSIOONI HÜGIEENILINE JA BIO- METEOROLOOGILINE TÄHENDUS MÖÖTMISTE ANDMEIL TARTUS

P. Prüller

## Resümee

Atmosfääri-ionisatsiooni süstemaatilised mõõtmised tehti VIII 1960. — VII 1963. a. 4—8 korda ööpäevas Tartu Riikliku Ülikooli peahoones (linna keskel) ülesseatud ionide kombineeritud loenduriga [Reinet, 1955, 1956], millele autori ja O. Saksa poolt kohandati automaatne fotoregistraator, dünaamiline elektromeeter ja isekirjutaja [Saks, 1956, 1963]. Atmosfääri-ionisatsiooni uurimiseks tehti 3 aastat kergete ionide 5 rühma (joon. 1) kohta 27 731 mõõtmist ja 29 kuud raskete ionide 3 rühma (joon. 3) kohta 11 085 mõõtmist. 1962.—1963. a. teostati esmakordselt NSV Liidus 1560 tunni kestel positiivsete keskmiste ionide ( $k \geq 0,02 \text{ cm}^2/\text{s V}$ ) pidev registreerimine (joon. 7—11) Atmosfääri-ionisatsiooni mõõtmiste koguarv on 40 376.

Meteoroloogilised andmed (joon. 2) saadi: (a) ENSV TA FAI aktinomeetria laboratooriumilt (kaugus 3,5 km); (b) ENSV Hüdrometeoroloogiateenistuse Tartu jaamalt (kaugus 8,5 km); (c) meteoroloogijaamalt TRÜ peahoones. Nende jaamade andmete ühtimine näitab, et Tartu linna meteoroloogiat kirjeldab hästi jaam (a) või (b) Korrelatsiooni arvutused tehti TRÜ elektronarvutil «Ural-4».

## Järeldused

1. Atmosfääri primaarsete ionide nn. molioonide ( $n_1$ , liikuvus  $k \geq 1,0 \text{ cm}^2/\text{s V}$ ) ja kergete ionide ( $n_2$ ,  $k \geq 0,1 \text{ cm}^2/\text{s V}$ ) kuu keskmiste kontsentratsioonide aastases käigus on miinimum talvekuudel (I—III), kui radooni väljumine maapinna külmumise ja lumekatte tõttu on takistatud ja maksimum kevad- ja suvekuudel (V, VI), kui rõhu tõusvad püstvoolud viivad radooni kõrgele (joon. 1). Vaatlusperioodil kergete ionide kontsentratsioonide maksimum juunikuul 1963 a.  $n^+ = 860 \text{ cm}^{-3}$  ühtib päevase päikesepaiste kestuse maksimumiga 12,3 tundi. Keskmiste ( $N_0$ ,  $0,1 > k \geq 0,01 \text{ cm}^2/\text{s V}$ ), poolraskete ( $N_1$ ,  $0,1 > k \geq 0,001 \text{ cm}^2/\text{s V}$ ) ja raskete ( $N_2$ ,  $0,1 > k \geq 0,00025 \text{ cm}^2/\text{s V}$ ) ionide kuukeskmiste kontsentratsioonide aastane käik (joon. 3) on vastasfaasis kergete ionide aastase käiguga (joon. 1)

10 aasta (1951. kuni 1961.—62. a.) kestel on Tartus kasvanud molioonide ( $n_1$ ) kontsentratsioonid umbes 20% ja kergete ionide ( $n_2$ ) kontsentratsioonid ei ole muutunud, aga raskete ionide kontsentratsioonid on vähenenud ligi 20% (tab. 1, joon. 4)

2. Kergete ionide kontsentratsioonide ( $n_2$ ) aastane käik on sama-faasis päevase päikesepaiste kestusega (A), temperatuuriga (t) ja nähtavusega (V) ning vastasfaasis relatiivse niiskusega (r) ja maapinna seisundi näitavuga (E, 0 — kuiv, 1, 2 — märg, 3 — külmunud jne.) ning raskete ionide kontsentratsiooniga ( $N_2$ ) (joon. 2).

3. Kergete ionide ( $n_2$ ) ja molioonide ( $n_1$ ) kontsentratsioonide ööpäevases käigus on külmal ja soojal poolaastal peamaksimum kell 1 öösel, peamiinimum kell 7 hommikul, osamaksimum kell 13 keskpäeval ja osamiinimum kell 19 õhtul (kohalik aeg). Raskete ( $N_2$ ) ja poolraskete ( $N_1$ ) ionide kontsentratsioonide ööpäevane käik on vastasfaasis kergete ionide ( $n_2$ ) ja molioonide ( $n_1$ ) kontsentratsioonide käiguga (joon. 5).

4. Kergete ionide unipolaarsuse kordaja on 1,1 kuni 1,2 ja rasketelioonidel umbes 1,0.

5. Et saada molioonide ( $n_1$ ) ja kergete ionide ( $n_2$ ) tõelisi kontsentratsioone  $n_\alpha$  ja  $n_{\alpha+\beta}$  (ilma raskete ionide juhtivusvooluta), kasutati esmakordselt ulatuslikult arvulist meetodit [Tammet, 1967] (tab. 2, val. 1—4), Vähe saastatud atmosfääri tingimustes on  $\alpha$ -rühma (moliionid) ionide tõelised kontsentratsioonid  $n_\alpha$  20—30% madalamad kui  $n_1$ ;  $\alpha+\beta$  rühma (kerged ionid) kontsentratsioonid  $n_{\alpha+\beta}$  on 20% madalamad kui  $n_2$  (tab. 3. joon. 6). Ioonide spektrite arvutused kinnitavad vahepealsete  $\beta$ -rühma ionide ( $1,0 > k \geq 0,1$  cm<sup>2</sup>/s V) olemasolu, mille tõelised kontsentratsioonid 1961 ja 1962 a. olid  $n_\beta^+ = 240$  cm<sup>-3</sup> ja  $n_\beta^- = 180$  cm<sup>-3</sup> (tab. 3). Positiivsete ionide kuukeskmised liikuvused on võrdsed ( $\beta$ -rühm) või väiksemad ( $\alpha$ -rühm) negatiivsete ionide liikuvusest (joon. 7—1).

6. Sama õhukanali õhu positiivsete keskmiste ionide ( $k \geq 0,02$  cm<sup>2</sup>/s V) kontsentratsioonide mõõtmised isekirjutajaga varustatud kahe loenduriga näitavad, et kahe erineva loenduriga saadud kõveratel (keskmised 10 minuti vahemikus) on sama keskmise tase, sama kvaasisagedus (kõvera pöördepunktide ehk lokaalsete ekstreemumite arv tunnis)  $f=1$  kuni 5 tund<sup>-1</sup> ja sama suhteline amplituud (joon. 7—2). Pilvisuse kiirel kahanemisel ja nähtavuse kasvul või vastupidi esineb kahe loenduriga mõõdetud kõverate puhul suur sünkroonne tõus või langus (joon. 8—3 ja 4). Sellest järeldub, et atmosfääri alumistes kihtides ionid ei ole jaotunud ühtlaselt, s. o. võrdsetes õhu mikroruumalades ionide kontsentratsioonid ei ole võrdsed.

7. Positiivsete keskmiste ionide ( $k \geq 0,02$  cm<sup>2</sup>/s V) kontsentratsioonide mõõtmised 10 päeva jooksul augustis 1963. a. (joon. 9—11) kahe loenduri abil (TRÜ peahoones ja sellest 3,5 km kaugusel FAI aktinomeetria laboratooriumi paviljonis) näitasid, et külma frondi ja kauge äikese (joon. 10—3, kl. 16—24), sooja frondi (joon. 11—1, kl. 2) või oklusiooni frondi (joon. 11—3, kl. 2) läbimisel Tartust esinesid, viimasel kahel juhul ka kogu ööpäev ligi-

kaudu võrdsete amplituudidega ( $n_a=0,1-0,5$ ) ja sagedustega ( $f=2-4$  tund $^{-1}$ ) ionide kontsentratsioonide võnkumised. Mõõtmistel linnas ja maal olid 10 päeva keskmised kontsentratsioonid võrdsed,  $n=950$  cm $^{-3}$

8. Eelnevas p. 6 ja 7 kirjeldatud mõõtmiste tulemused lubavad järeldada, et TRÜ peahoones statsionaarse loenduriga tehtud süstemaatilised ionide kontsentratsioonide mõõtmised (joon. 1 ja 3) soojal poolaastal (V—X) täielikult representeerivad ionisatsiooni looduslikku taset ja selle võnkumisi. Külmal poolaastal (XI—IV) karakteriseerivad ionisatsiooni looduslikku taset mõõtmised kell 1 öösel (joon. 21 ja 22)

9. Seosed ionide kontsentratsioonide ja meteoroloogiliste elementide vahel on enamikul juhtudel kaudsed. 1960.—1962. a. mõõtmiste põhjal on elektronarvutil välja arvatatud 88 lineaarse korrelatsiooni kordajat 11 meteoroloogilisele elemendile ja 16 hinnangut ionide kontsentratsioonide olenevuse kohta sõltuvalt tuule suunast eri ilmakaartest (joon. 12) 45. korrelatsioonikordaja absoluutväärtused on rajades 0,11 kuni 0,35, s. o. üle usaldatavuse läve 0,11 (tab. 4)

Kergete ionide kontsentratsioonid ( $n_2$ ) märgatavalt korreleeruvad järgmiste meteoroloogiliste elementidega: positiivselt V,  $S_c$ , t (talv) ja v, negatiivselt r,  $= n_L$  (talv), e (suvi) ja E, aga rasked ionid: positiivselt p,  $=$  (suvi) ja E (talv) ja negatiivselt v, e, t,  $n_L$ , E (suvi) (tab. 4, joon. 14—17) Suurima arvu keskküttekorstnatega linnaosast, kagu (SE) suunast puhuvate tuulte puhul on raskete ionide kontsentratsioonid ( $N_2$ ) kõrged ja kergete ionide ( $n_2$ ) omad madalad, lehtpuurikka Toomemäe, lääne (W) suunast puhuvate tuulte puhul on olukord vastupidine (joon. 13 ja 14).

10. Autori poolt kahe korrelatsioonikordajate rea võrdlemiseks defineeritud alternatiivsuse kordaja A (val. 5) rakendamine näitab, et (a) seosed meteoroloogiliste elementide ja raskete ionide kontsentratsioonide vahel on stabiilsemad vastavatest seostest kergete ionide puhul (tab. 5); (b) kergete ja raskete ionide liikuvuste rajaks on  $k=0,5$  cm $^2$ /s V mida kinnitavad ka teised hinnangud ja mõõtmised (tab. 6).

11. Aerosoolide kontsentratsioonide arvutused Tartus raskete ionide kontsentratsioonide ( $N_2$ ) mõõtmiste põhjal (val. 6) on heas kooskõlas Scholzi aerosoolide loenduriga tehtud mõõtmistega kohtades, kus puuduvad suured hälbed looduslikest olukordadest (joon. 18). Aerosoolide aastakeskmised kontsentratsioonid Tartus 1961. ja 1962. a. on vastavalt  $25,4 \cdot 10^3$  cm $^{-3}$  ja  $27,1 \cdot 10^3$  cm $^{-3}$

12. Ruumlaengu tihedus  $Q$  arvutati raskete ja kergete ionide kontsentratsioonide  $N_2$  ja  $n_2$  põhjal (val. 7) ja selle aastakeskmise oli 1951, 1961. ja 1962. a. vastavalt 200, —30 ja 280 e/cm $^3$  Ruumlaengu tiheduse aastasel käigul on miinimum suvel ja maksimum talvel, ööpäevases käigus on peamiinimum kell 4 ja peamaksimum

kell 10 (joon. 19). Ruumlaengu tihedus  $q$  ja selle märk ionide spektri erineva liikuvusega rühmade puhul annab uue füüsikalise aluse ionide klassifikatsioonile (tab. 7), vastandina seni kehtivale kokkuleppelisele klassifikatsioonile (P. N. Tverskoi, H. Israel).

13. Ionisatsiooni mõõtmine äikese ajal spektri rajades  $2,5-0,02 \text{ cm}^2/\text{s V}$  näitab balloelektrilise efekti tõttu suurt negatiivsete ionide kontsentratsioonide ülekaalu (joon. 20—1).

14. 1962. a. 4 ööpäeva kuus tehtud positiivsete keskmiste ionide ( $k \geq 0,02 \text{ cm}^2/\text{s V}$ ) üksikmõõtmiste kontsentratsioonide ja meteoroloogiliste elementide vaheliste seoste analüüs kinnitab statistiliste keskmiste põhjal XII 1960.—X 1962. a. tehtud analoogilisi korrelatsioonseoseid (järelalus p. 9)

15. Atmosfääri-ionisatsiooni mõõtmised on hügieeni seisukohalt tähtsad vaatluskoha õhu saastumise või puhtuse hindamisel. Parameetri

$$M = n \quad N = \frac{n_2^+ + n_2^-}{2} \cdot \frac{N_2^+ + N_2^-}{2}$$

( $n$  on mõlemat märki kergete,  $N$  — mõlemat märki raskete ionide kontsentratsioonide aritmeetiline keskmine) Tartus 1951., 1961. ja 1962. a. vastavalt  $2,0 \cdot 10^6$ ,  $2,1 \cdot 10^6$  ja  $2,3 \cdot 10^6 \text{ cm}^{-6}$  on praktikas sageli kasutatav õhu saastumise näitaja  $c = \frac{N}{n} \cdot \frac{N^2}{M} = \frac{M}{n^2}$  reaalse informatsiooni mõttes ekvivalentne suurusega  $N^2$  või lõpptulemusena suurusega  $N$ , kergete ionide puhul vastavalt  $n^{-2}$  ja  $n^{-1}$ . Viimasel juhul on suurus  $n$  pöördvõrdeline suurusega  $N$  ja karakteriseerib õhu puhtust.

16. Linna tingimustes õhk saastub vähem öösel kui päeval. Raskete ionide kontsentratsioon  $N_2^+$ ,  $N_2^-$  Tartus kell 1 öösel muutub aastast aastasse vähe (kõikudes 2000 kuni  $3000 \text{ cm}^{-3}$  piires) ja osutub vähesaastunud looduslikuks õhuks. Õhu saastumise näitajaks on samuti mõlemat märki raskete ionide kontsentratsioonide summa  $N_2^+ + N_2^-$ , mõõdetud kell 7. 13 ja 19 suhe summasse  $N_2^+ + N_2^-$  mõõdetud kell 1 öösel; õhu puhtuse näitaja on analoogiliselt arvutatav kergete ionide summade  $n_2^+ + n_2^-$  põhjal (joon. 21 ja 22).

17. Komplekssete karakteristikate tähtsuse tõttu meditsiinis ja kurortoloogias paneb autor ette lihtsas ja ratsionaalses ilmade tüpiseerimise skeemis [Шмидт, 1951; Ungeheuer, 1955] võtta aluseks kindlad näitajad: antitsükloonaalne ilmastik päikesepaiste suhtelise kestusega 0,3 (tüüp 1), 0,3—0,6 (tüüp 2) ja üle 0,6 (tüüp 3), tsükloonaalne ilmastik (tüüp 4 ja 5) ja üleminekuperiood (tüüp 6, 7) ning kohandas selle skeemi Tartu (Eesti NSV) ilmastikule (joon. 23) Kergete ionide kontsentratsioon on maksimaalne kõige päikesepaistelisema ilmatüübi 3 puhul ja minimaalne tsükloonaalse

tüübi 4 ja 5 puhul (joon. 23). Tsüklonaalse ilma puhul kergete ionide (erandiks oli 1962. a. suvi) ja raskete ionide kontsentratsioon on väiksem kui vastava poolaasta keskmine kontsentratsioon (joon. 25).

18. Tartu linna statistika põhjal (1960.—1963. a. 2615 surmajuhtu haiguste tagajärjel) oli üldine suremus ja suremus südame- ning vereringehaigustesse väiksem suvekuudel, juunis ja juulis, millal päikesepaiste päevane kestus on pikk ja kergete ionide kontsentratsioon on kõrge (joon. 26). Tsüklonite möödumisel Tartust kaasaõhurõhu järsu langusega südame- ja vereringehaigustesse surnute arvu suur tõus aasta keskmisega võrreldes, oletatavasti tingitud atmosfäärivate (atmosfääri elektrilaengutel tekkivad elektromagnetilised lainet) mõjust haige närvisüsteemile.

19. Linnade õhupuhtuse seisukohalt on vaja: a) maju kütta suurte keskküttetsentraalide kaudu, mille kõrge korstnad on varustatud elektrostaatiliste filtritega ja linna piirest välja viia kõik õhku saastavad tööstuste küttekolded; (b) uute linnade ja linnaosade planeerimisel jaotada ühtlaselt üle linna parke ja haljasalasid.

20. Uurides kliima mõju inimesele on vaja uurida mitte ainult meteoroloogiliste elementide mõju, vaid ka atmosfääri-ionisatsiooni, atmosfääri elektrinähtuste (atmosfäärilised) ja atmosfääri aerosoolide (tuumade) toimet.

## INVESTIGATIONS OF ATMOSPHERIC ION SPECTRA, HYGIENICAL AND BIOMETEOROLOGICAL SIGNIFI- CANCE OF IONIZATION IN TARTU

P. Prüller

### Summary

In the period of August 1960 to July 1963 systematic measurements of atmospheric ionization were carried out 4 to 8 times in 24 hours by means of a combined aspiration ion counter [Reinet, 1955, 1956] installed in the northern wing of the main building of Tartu State University (situated in the centre of the city of Tartu, Estonian SSR). The ion counter had been equipped by the author and O. Saks with an automatic photorecorder, a vibrating reed electrometer and a selfrecorder [Saks, 1956, 1963]. To conduct a systematic study of atmospheric ionization 27 731 individual measurements were carried out with five groups of small ions in the course of three years (Fig. 1) and 11 085 individual measurements with three groups of large ions during twenty-nine months (Fig. 3). In the years 1962—1963 during 1560 hours a continuous registration of intermediate positive ions ( $k \geq 0.02 \text{ cm}^2/\text{s} \cdot \text{V}$ ) was



conducted (Fig. 7—11) In all 40376 individual measurements were performed.

Meteorological data (Fig. 2) were obtained from (a) the Tartu Actinometric Laboratory of the Institute of Physics and Astronomy, the Academy of Sciences of the Estonian SSR at a distance of 3.5 km from the city centre; (b) the Tartu Meteorological Station of the Hydrometeorological Service of the Estonian SSR (at a distance of 8.5 km from Tartu; (c) the Meteorological Observatory of Tartu State University located in the University main building. Good agreement of the data of these stations shows that the meteorology of the town is characterized well by stations (a) and (b). Calculations of correlation coefficients were performed on the computer «Ural-4» of Tartu State University.

## Conclusions

1. In the annual variation the average monthly densities of primary atmospheric ions, so-called molions ( $n_1$  with a mobility of  $k \geq 1.0 \text{ cm}^2/\text{s V}$ ) and of small ions ( $n_2$  with  $k \geq 0.1 \text{ cm}^2/\text{s V}$ ) revealed a minimum in the winter months (January to March) when the ground is solidly frozen and the separation of radon gas from the earth is hindered by the snow-cover, and a maximum in the spring and summer months (May to June), when due to the warming-up of the ground the separation of radon gas from the earth increases and the vertical air currents take radon high up (Fig.1). During the observation period the maximum of small ion densities ( $n^+ = 860 \text{ cm}^{-3}$ ) and the maximum of the average duration of sunshine (12.3 hr per day) were in June 1963. The annual variation of the average monthly densities of intermediate ions ( $N_0, 0.1 > k \geq 0.01 \text{ cm}^2/\text{s V}$ ), semilarge ions ( $N_1, 0.1 > k \geq 0.001 \text{ cm}^2/\text{s V}$ ) and of large ions ( $N_2, 0.1 > k \geq 0.00025 \text{ cm}^2/\text{s V}$ ) in the atmosphere (Fig. 3) is in phase opposition with the annual variation of small ions (Fig. 1)

In the course of ten years (1951—1961/62) the densities of molions ( $n_1$ ) have increased by about 20% and those of small ions have been the same, whereas the densities of large ions have decreased by approximately 20% (Table 1, Fig. 4).

2. The annual variation of the densities of small ions ( $n_2$ ) is in phase with the duration of sunshine per day (A), temperature (t) and visibility (V), and is in phase opposition with relative humidity (r) and the index of the state of the ground surface (E,O-dry; 1,2-wet; 3-frozen, etc.) and the density of large ions ( $N_2$ ) (Fig. 2).

3. In the diurnal variation of the densities of small ions ( $n_2$ ) and molions ( $n_1$ ) the main maximum in the cold and the warm half-year is at 01.00 hr and the main minimum at 07.00 hr; the partial

maximum is after midday at 13.00 hr and the partial minimum is in the evening at 19.00 hr (local time). The variation of the densities of large ( $N_2$ ) and semi-large ( $N_1$ ) ions is in phase opposition to the variation of the densities of small ions ( $n_2$ ) and molions ( $n_1$ ) (Fig. 5).

4. The coefficient of unipolarity of small ions ranges from 1.1 to 1.2, that of large ions is approximately 1.0.

5. To obtain the actual densities  $n_\alpha$  and  $n_{\alpha+\beta}$  of molions ( $n_1$ ) and of small ions ( $n_2$ ) (without the ohmic current of large ions) extensive use was made of an analytical method [Tammet, 1967] (Table 2, formulas 1—4). The actual densities  $n_\alpha$  of the  $\alpha$ -group of ions (molions) are by 20—30% smaller than those of  $n_1$ ; the actual densities  $n_{\alpha+\beta}$  of the  $\alpha+\beta$ -group of ions (small ions) are by 20% lower than those of  $n_2$  (Table I 3, Fig. 6). Computations of ionic spectra bear out the existence of the intermediate  $\beta$ -group of ions ( $1.0 > k \geq 0.1$  cm<sup>2</sup>/s V), the real densities of which in the years 1961 and 1962 were  $n_\beta^+ = 240$  cm<sup>-3</sup> and  $n_\beta^- = 180$  cm<sup>-3</sup> (Table 3).

6. Measurements of the densities of intermediate positive ions ( $k \geq 0.02$  cm<sup>2</sup>/V sec) carried out in one and the same airchannel by means of two ion counters equipped with a selfrecorder show that the curves obtained by two different counters (average per 10-minute intervals) are identical in their average level, quasi frequency (equivalent to the number of the turning-points of each curve per hour)  $f = 1$  to  $5$  hr<sup>-1</sup> and amplitude (Fig. 7, lower). In the case of a considerable decrease of cloudiness or increase of visibility and vice versa the curves of densities measured by the two counters either rise or fall synchronously (Fig. 8—3 and 4). This indicates that the ions in the lower layers of the atmosphere are not uniformly distributed, i. e. the ion densities in equal micro-volumes are unequal.

7. Measurements of densities of intermediate ions ( $k \geq 0.02$  cm<sup>2</sup>/s V) conducted during ten days in August 1963 by means of two counters (Figs. 9—11) of which one was located in the city centre (the main building of the University) and the other in the vicinity of the city (the Actinometric Laboratory at a distance of 3.5 km from the city centre) indicated that when a cold front with a distant thunderstorm (Figs. 10—3, at 16.00—24.00 hr) a warm front (Figs. 11—1, at 02.00 hr.) or an occluded front (Figs. 11—3, at 02.00 hr) passed over the town, the curves were very similar with close relative amplitudes ( $n_a = 0.1—0.5$ ) and frequencies ( $f = 2—4$  hr<sup>-1</sup>). The average ion density of 10 days in the city and the countryside was equal,  $n = 950$  cm<sup>-3</sup>.

8. Relying on the measurements referred to in points 6 and 7 we conclude that the systematic measurements of ion densities conducted by means of a stationary counter (Figs 1 and 3) in the main building of the University fully represent and characterize the

situation in the field of ionization outside the town in the warm season (May to October) In this cold season (November to April) the situation of ionization in a small town is best characterized by measurements carried out at 01.00 hr (local time) (Fig. 21 and 22).

9. Relations between the ion densities and the meteorological elements are mostly indirect. For the period of 1960—1962, on the basis of the measurements performed, the computer has calculated 88 linear correlation coefficients for 11 meteorological elements and 16 indicators of the increase and decrease of ion densities have been derived in dependence on the direction of the wind blowing from different quarters (Fig. 12). The absolute values of 45 correlation coefficients are within the limits of 0.11 to 0.35, i. e. above the significance level  $r_0=0.11$  (Table 4)

The densities of small ions ( $n_2$ ) noticeably correlate with the meteorological elements: positively  $V$ ,  $S_c$ ,  $t$  (winter) and  $v$ , negatively  $r$ ,  $\equiv$ ,  $n_L$  (winter),  $e$  (summer) and  $E$ , those of large ions: positively  $p$ ,  $\equiv$  (summer) and  $E$  (winter), negatively  $v$ ,  $e$ ,  $t$ ,  $n_L$  and  $E$  (summer). (Table 4, Figs. 14—17) When the wind blows from the southeast, i. e. the town quarter having the greatest number of chimneys and central-heating smoke-stacks, the densities of large ions ( $N_2$ ) are high and those of small ions ( $n_2$ ) low; when the wind blows from the west, i. e. from the park on Toome Hill rich in deciduous trees, the reverse is the case (Figs. 13 and 14).

10. The application of the coefficient of alternativeness  $A$  (Formula 5) defined by the author for the comparison of two series of correlation coefficients show that (a) relations between the meteorological elements and the large-ion densities are more stable than the respective relations between small ions (Table 5); (b) the limit of the mobilities of small and large is  $k=0.5 \text{ cm}^2/\text{s}$   $V$ , which is also corroborated by other estimates and measurements (Table 6).

11. Calculations of aerosol densities in Tartu performed on the densities of large ions ( $N_2$ ) (Formula 6) are in good correlation with the measurements conducted with the aerosol counter of Scholz at localities showing no great deviations from natural situations (Fig. 18). The average annual densities of aerosols in Tartu in 1961 and 1962 are  $25.4 \cdot 10^3 \text{ cm}^{-3}$  and  $27.1 \cdot 10^3 \text{ cm}^{-3}$  respectively.

12. The space charge concentration was calculated on the basis of the densities of large and small ions  $N_2$  and  $n_2$  (according to Formula 7) and its annual mean for 1951, 1961 and 1962 was 200, —30 and 280  $\text{e}/\text{cm}^3$  respectively. The annual variation of the space charge concentration has a minimum in summer and a maximum in winter, the diurnal variation has its main minimum at 04.00 hr and its main maximum at 10.00 hr (Fig. 19). The space charge concentration  $q$  and its sign of individual groups of ions gives a

new physically founded basis for the classification of ion groups in the ion spectrum (Table 7), which is contrary to the conventional classification so far in use [P. N. Tverskoi, H. Israel].

13. Measurement of ionization during a thunderstorm within the limits of the spectrum 2.5 to 0.02 cm<sup>2</sup>/s V due to its balloelectric effect shows a great predominance of negative ions (Fig. 20, upper).

14. Analysis of the relations between the individual measurements of mean positive ions ( $k \geq 0.02$  cm<sup>2</sup>/v sec) and of the meteorological elements carried out on 4 days a month in 1962 corroborates the analogous correlation relations established on the basis of statistical means during Dec. 1960—Oct. 1962 (Conclusion 9).

15. Measurements of the ionization of the atmosphere are important from the point of view of public health in evaluating the purity of the air at the site of observation. Taking into account the

constancy of the parameter  $M = nN = \frac{n_2^+ + n_2^-}{2} \frac{N_2^+ + N_2^-}{2}$  ( $n$  is the arithmetic mean of the densities of small ions of both signs,  $N$  is that of large ions) in Tartu for 1951, 1961 and 1962  $2.0 \cdot 10^6$ ,  $2.1 \cdot 10^6$  and  $2.3 \cdot 10^6$  cm<sup>-6</sup>, respectively, the air pollution coefficient  $c = \frac{N}{n} = \frac{N^2}{M} = \frac{M}{n^2}$  which is often used in practice, is in terms of the real information contained in it equivalent to the densities of large ions squared  $N^2$  or, for that matter, also to the final result  $N$ , in the case of small ions to  $n^{-2}$  or  $n^{-1}$ , respectively. Taking this into account, the ion counter can be used for extensive research in the field of public health.

16. In town conditions the air becomes less polluted in the night. The density of large ions  $N_2$  in Tartu at 01.00 hr changes little from year to year (fluctuating within the limits of 2000 to 3000 cm<sup>-3</sup>). As an indicator of the pollution of the air may serve the ratio of the sum of large ions of both signs  $N_2^+ + N_2^-$  measured at 07.00, 13.00 or 19.00 hr to the sum  $N_2^+ + N_2^-$  measured at 01.00 hr. The indicator of the purity of the air is likewise calculable by the ratio of the sums of the densities of small ions  $n_2^+ + n_2^-$  (Fig. 21 and 22)

17. Due to the importance of complex characteristics in medicine and the management of health-resorts, the author suggests that in the simple and rational scheme of the classification of weather conditions into types [Schmidt (Шмидт) Leningrad, 1951; Ungeheuer, 1955], the following indicators be taken for the basis: anticyclonic weather conditions together with the relative duration of sunshine up to 0.3 (type 1), 0.3—0.6 (type 2) and over 0.6 (type 3), cyclonic weather conditions (types 4 and 5) and transitional periods with rain (type 6) and without rain (type 7). The author has adapted this scheme for the weather conditions in Tartu (Estonian

SSR) (Fig. 23) The small ion density is at its maximum in the case of the most sunshiny weather type 3 and its minimum in the case of weather types 4 and 5 (Fig. 24). In the case of cyclonic weather conditions the densities of small ions (with the exception of the 1962 summer) and of large ions are smaller than the respective mean densities of the respective half-year (Fig. 25).

18. According to the statistics concerning the town of Tartu there were 2615 deaths due to diseases from 1960 to 1963, total mortality and mortality from incidence of cardio-vascular diseases in particular diminished in summer months as a result of long periods of sunshine during the day and high densities of small ions (Fig. 26). A sudden decrease in atmospheric pressure is accompanied by a considerable increase in daily mortality, which is most probably due to the effect of atmospherics, (i. e. electromagnetic waves accompanying cyclons and thunderstorms) on the nervous system of patients (Fig. 27).

19. From the point of view of the purity of the air in towns, it is necessary that central heating units of houses situated in the centre of a town should be replaced by central heating plants whose tall funnels should be provided with electrostatic filters and, further, that all the industrial enterprises polluting the air should be taken out of the town boundaries. When planning new towns and town districts, large parks must be uniformly distributed all over the town and verdant areas of land must be laid out between buildings.

20. When investigating the effect of climate on man, in medical prophylaxis and therapy as well as in the health-resort management, it is necessary to study not only the influence of meteorological elements, but also atmospheric ionization, atmospheric electrical phenomena (atmospherics) and atmospheric aerosols (nuclei)

## К ТЕОРИИ ИЗМЕРЕНИЯ НАПРЯЖЕННОСТИ АТМОСФЕРНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ

Х. Ф. Таммер

1. Введение. Известны три основных метода измерения напряженности атмосферного электрического поля: проводимостный метод (коллекторные приборы), индукционный метод (прибор Вильсона) и генераторный метод (роторные и вибрационные полемеры, в которых используется принцип электростатического генератора).

Теории перечисленных методов развиты изолированно друг от друга, что затрудняет понимание особенностей разных способов измерения. Сужение исходных предположений приводит к односторонним и даже ошибочным выводам. Примером высказанного является ошибочная трактовка вопроса об инерционности коллекторного прибора в фундаментальной работе [Benndorf, 1909], выводы которой излагаются почти в неизменном виде и в современных монографиях [Имянитов, 1957; Israël, 1961]. Исход ошибки — игнорирование индукционного тока. Статьи [Grenel, 1934a, 1934b; Lecolazet, 1946], в которых отмеченная ошибка устранена, остались почти неизвестными и ошибка Бенндорфа повторяется многими исследователями. Даже в работах [Israël, 1955, 1961], содержащих сводку выводов Леколазе, формулы Бенндорфской теории представлены без корректур (стр. 328 331 последней указанной книги).

Ниже делается попытка построить теорию измерения напряженности электрического поля на основе исходной концепции, общей для всех методов. К этой концепции приводит развитие идеи Грене и Леколазе. Для сокращения объема статьи откажемся от полного систематического изложения теории измерения напряженности, останавливаясь только на тех вопросах, которые освещают принятый подход по-новому.

Естественным обобщением настоящей работы было бы соединение теории измерения напряженности электрического поля с теорией измерения плотности тока, изложенной в статье [Kasemir, Ruhnke, 1958].

В настоящей работе принята система единиц *СИ*. Однако большинство формул действительны в неизменном виде и в системе *СГСЭ*. Все исключения (формулы, действительные только в системе *СИ*) отмечены звездочкой при номере формулы.

2. Устройство антенны. Антенной называется приемная часть измерителя напряженности электрического поля. Задачей антенны является преобразование измеряемой напряженности  $E_0$  в напряжение  $U$ , которое подлежит регистрации. Антенна частично или полностью экспонирована в измеряемом поле, частично может быть экранирована. Ограничимся рассмотрением электрических полей настолько низкой частоты, что магнитное индуцирование электродвижущей силы не существенно. Предположим еще следующее:

А. Измеритель напряженности расположен около проводящей поверхности нулевого потенциала, называемой землей (условно).

Б. Все части антенны имеют одно и то же значение потенциала  $U$ .

В. Напряженность электрического поля над любой точкой поверхности антенны при условии заземления последней пропорциональна измеряемой напряженности  $E_0$  (коэффициент пропорциональности постоянен во времени) или равна нулю.

Г. Относительная электрическая проницаемость среды около неэкранированной части антенны равна единице.

Д. Плотность тока около антенны зависит от напряженности линейно.

Е. Нагрузка антенны эквивалентна пассивной параллельной *RC*-цепи первого порядка, которая включена между антенной и землей.

Второе из перечисленных предположений выполнено, если сопротивление между частями антенны не слишком велико. Третье предположение выполняется, если вблизи неэкранированной части антенны нет посторонних зарядов и плотность объемного заряда между антенной и землей мала. Погрешность четвертого предположения при атмосферном воздухе менее 0,1%. Пятое предположение самое неточное [Builder, 1930; Wagner, 1955], однако выполнение этого предположения для основных выводов настоящей статьи несущественно. В случае невыполнения этого предположения лишь некоторые формулы станут приближенными.

3. Уравнение антенны. Заряд антенны зависит от напряжения  $U$  и напряженности  $E_0$  линейно:

$$q = C(U + h_c E_0), \quad (1)$$

где коэффициент пропорциональности  $C$  является суммарной емкостью антенны. Если  $q=0$ , то  $U = -h_c E_0$ . Такое положение

может быть достигнуто заземлением антенны при  $E_0=0$  (под добавочным экраном) и последующим мгновенным установлением  $E_0$  (удалив экран). Легко убедиться, что в случае идеальной ненагруженной точечной антенны над плоскостью  $h_c$  совпадает с высотой антенны. В общем случае  $h_c$  назовем индукционной эффективной высотой антенны.

Заряд антенны изменяется вследствие проводимости воздуха, изоляторов и нагрузки, уноса заряда капающей водой и конвективного тока, существенного во время осадков и при быстром движении антенны в ионизированной среде. Допустим обычную идеализацию о непрерывности конвективного тока и тока капанья. По уже принятому предположению ток  $I$ , оттекающий от антенны, зависит от  $U$  и  $E_0$  линейно:

$$I = \frac{1}{R} (U + h_R E_0) - I_0. \quad (2)$$

$I_0$  — конвективный ток, не зависящий от  $U$  и  $E_0$ . Постоянная  $R$  является сопротивлением антенны. Если  $I_0=0$  и  $I=0$  (равновесие заряда), то  $U = -h_R E_0$ .  $h_R$  идеальной ненагруженной точечной антенны совпадает с высотой антенны. В общем случае  $h_R$  назовем проводимостной эффективной высотой антенны.

Уравнение антенны получается из условия  $dq = -Idt$ . Вычисляя производную от выражения (1), найдем:

$$\frac{dU}{dt} + \left( \frac{1}{RC} + \frac{1}{C} \frac{dC}{dt} \right) U = -\frac{h_R}{RC} E_0 - \frac{1}{C} \frac{d(Ch_c E_0)}{dt} + \frac{I_0}{C} \quad (3)$$

Это уравнение действительно и в том случае, если все параметры антенны функции времени. Если  $C = \text{const}$  и  $h_c = \text{const}$ , то уравнение антенны упрощается:

$$\frac{dU}{dt} + \frac{U}{RC} = -\frac{h_R}{RC} E_0 - h_c \frac{dE_0}{dt} + \frac{I_0}{C}. \quad (4)$$

Уравнения (3) и (4) решаются в принципе просто. Математические затруднения могут возникать только при вычислении интегралов.

4. Эффективные высоты антенны. Для вычисления индукционной эффективной высоты рассмотрим заземленную антенну,  $h_c$  которой равно  $q_{U=0} / C E_0$ . Заряд антенны определяется интегралом поверхностной плотности заряда  $\epsilon_0 E_{U=0}$  через всю поверхность антенны. Результат целесообразно записать так:

$$h_c = \frac{\epsilon_0}{C} S_0, \quad (5^*)$$

где  $\epsilon_0$  — электрическая проницаемость вакуума и

---

\* Формула действительна только в системе единиц СИ.



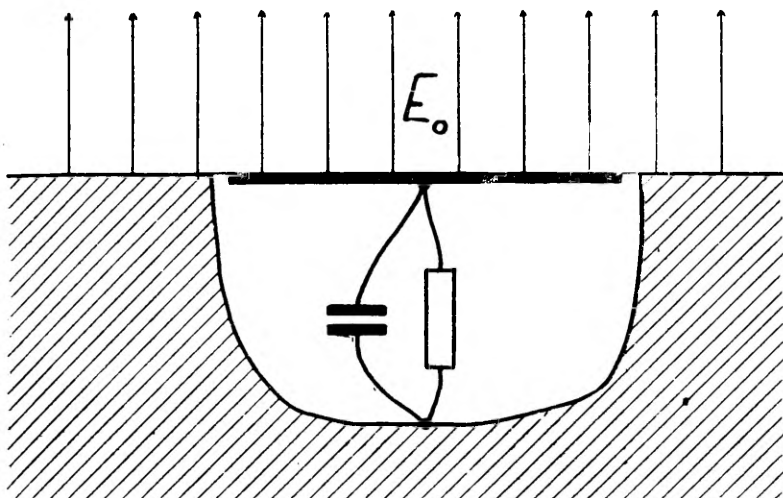


Рис. 1. Плоская антенна (разрез).

$$S_0 = \iint_S \frac{E_{U=0}}{E_0} dS. \quad (6)$$

$S_0$  — эффективная площадь антенны. Эффективная площадь плоской антенны, расположенной на уровне земли (рис. 1), равна ее экспонированной площади.

Проводимостную эффективную высоту можно вычислить аналогично. Если  $U=0$ , то  $h_R = R/I_{U=0}/E_0$ . Плотность тока на поверхности антенны  $\lambda E_{U=0}$ , где  $\lambda$  — эффективная проводимость, определяемая как сумма соответствующей полярной проводимости воздуха или проводимости изолятора и эффективной проводимости капанья. Определяя  $I_{U=0}$  интегралом плотности тока через всю поверхность антенны, найдем:

$$h_R = \bar{R} \bar{\lambda} S_0, \quad (7)$$

где

$$\bar{\lambda} = \frac{\iint_S \lambda E_{U=0} dS}{\iint_S E_{U=0} dS} \quad (8)$$

$\bar{\lambda}$  — средняя эффективная проводимость над экспонированной частью антенны.

При однородной эффективной проводимости сопротивление антенны вычисляется известной формулой:

$$R = \frac{\varepsilon_0}{C\lambda}. \quad (9^*)$$

Из формул (5), (7) и (9) вытекает равенство  $h_C = h_R$ . В случае неоднородной проводимости около антенны обычно  $h_C \neq h_R$ .

5. Эквивалентные схемы антенны. Эквивалентными схемами антенны можно называть все схемы, уравнение которых совпадает с уравнением антенны. Чтобы лучше проиллюстрировать свойства антенны, следует составить как можно более простую эквивалентную схему. Перегрузка схемы дополнительными элементами [Dolezalek, 1960a, 1960b] осложняет исследование.

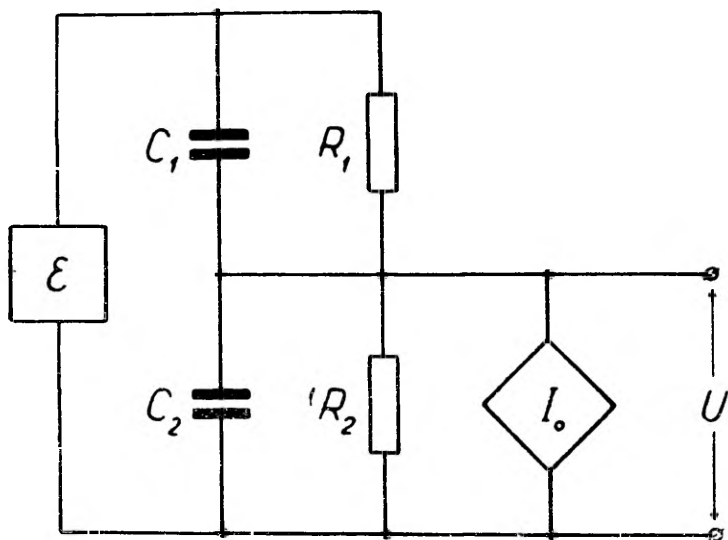


Рис. 2. Универсальная эквивалентная схема антенны.  $\mathcal{E}$  — генератор эдс,  $I_0$  — генератор тока с  $R_i = \infty$ .

В качестве универсальной эквивалентной схемы антенны может быть принята схема на рис. 2, использованная в работе [Kasemir, Ruhnke, 1958]. Нижнюю на рис. 2 выходную клемму считаем заземленной. Заряд узла, к которому подключена другая выходная клемма, и ток, оттекающий от этого узла на землю, следующие:

$$q = (C_1 + C_2) \left( U - \frac{C_1}{C_1 + C_2} \mathcal{E} \right), \quad (10)$$

$$I = \frac{R_1 + R_2}{R_1 R_2} \left( U - \frac{R_2}{R_1 + R_2} \mathcal{E} \right) - I_0. \quad (11)$$

Эти выражения совпадут с выражениями (1) и (2), если принять

$$\left. \begin{aligned} \mathcal{E} &= -h_0 E_0 \\ C_1 &= \frac{h_c}{h_0} C \\ C_2 &= \left(1 - \frac{h_c}{h_0}\right) C \\ R_1 &= \frac{h_0}{h_R} R \\ R_2 &= \frac{R}{1 - \frac{h_R}{h_0}} \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

где  $h_0$  — произвольно выбранная высота, которая должна быть не меньше ни  $h_C$ , ни  $h_R$ .

Обозначим

$$\frac{h_c}{h_R} = \kappa. \quad (13)$$

При  $\kappa \leq 1$  можно выбрать  $h_0 = h_R$ , и схема рис. 2 упрощается, совпадая со схемой рис. 3а. При  $\kappa \geq 1$  можно выбрать  $h_0 = h_C$ , и схема рис. 2 совпадет со схемой рис. 3б.

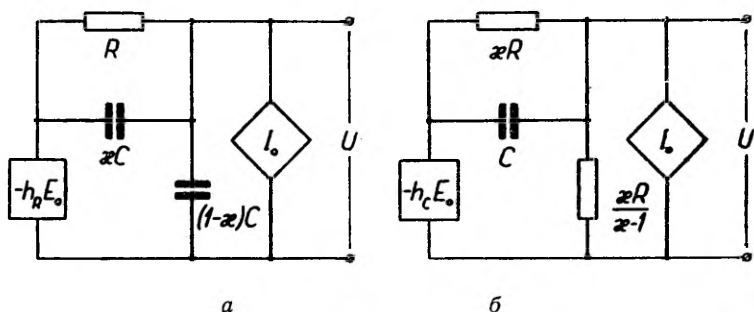


Рис. 3. Эквивалентные схемы антенны.

а — при  $\kappa \leq 1$ , б — при  $\kappa \geq 1$ . Горизонтальный квадрат обозначает генератор эдс ( $R_i = 0$ ), диагональный квадрат — генератор тока ( $R_i = \infty$ ).

Эквивалентные схемы позволяют при желании обойти анализ уравнения антенны, заменяя это приложением готовых формул теории линейных цепей к нашей задаче.

6. Решение уравнения антенны с постоянными параметрами. Предполагаем, что  $h_C$ ,  $h_R$ ,  $C$ ,  $R$  и  $I_0$  постоянные. Обозначим постоянную времени антенны  $RC = \tau$ .

Общее решение уравнения антенны можно при таких условиях записать двояко:

$$U = -h_C E_0 + \frac{h_C - h_R}{\tau} \int_{-\infty}^t E_0(t') e^{-\frac{t-t'}{\tau}} dt' + R I_0 + U_0 e^{-\frac{t-t_0}{\tau}}, \quad (14)$$

$$U = -h_R E_0 + (h_R - h_C) \int_{-\infty}^t \frac{dE_0(t')}{dt'} e^{-\frac{t-t'}{\tau}} dt' + R I_0 + U_0 e^{-\frac{t-t_0}{\tau}} \quad (15)$$

Выражения (14) и (15) тождественны друг другу.  $U_0 e^{-\frac{t-t_0}{\tau}}$  — постоянная интегрирования. В момент  $t=t_0$  последнее слагаемое выражений (14) и (15) равно  $U_0$ .  $U_0$  оказывается напряжением, обусловленным каким-то посторонним зарядом, имеющим в момент  $t=t_0$  значение  $C U_0$ . Если антенна включена длительно, то слагаемое  $U_0 e^{-\frac{t-t_0}{\tau}}$  приближается экспоненциально к нулю и его можно из решения уравнения антенны опустить.

Предполагаем  $I_0=0$ . Если  $E_0=\text{const}$ , то

$$U = -h_R E_0. \quad (16)$$

Если до определенного момента напряженность равна нулю, а в этот момент изменяется скачком до значения  $E_0$ , то непосредственно после скачка напряженности

$$U = -h_C E_0. \quad (17)$$

Если  $dE_0/dt = \text{const}$ , то

$$U = -h_R E_0 + (h_R - h_C) \tau \frac{dE_0}{dt} \quad (18)$$

Рассмотрим еще обратную задачу, при которой  $U(t)$  известна, а  $E_0(t)$  неизвестная функция. Выражение (4) является и в отношении  $E_0$  линейным дифференциальным уравнением, решение которого полезно записать двояко:

$$E_0 = -\frac{1}{h_C} \left[ U + \frac{\kappa-1}{\kappa\tau} \int_{-\infty}^t U(t') e^{-\frac{t-t'}{\kappa\tau}} dt' - \kappa R I_0 \right], \quad (19)$$

$$E_0 = -\frac{1}{h_R} \left[ U + \frac{1-\kappa}{\kappa} \int_{-\infty}^t \frac{dU(t')}{dt'} e^{-\frac{t-t'}{\kappa\tau}} dt' - R I_0 \right] \quad (20)$$

Слагаемое, описывающее переходный процесс включения антенны, в этих формулах опущено.

Для практического определения функции  $E_0(t)$  по  $U(t)$  можно применять электрические схемы, передаточные характеристики которых совпадают с тождественными друг другу формулами (19) и (20). Такие схемы представлены на рис. 4. Аналоговой схемой можно обработать запись наблюдений или включить эту схему непосредственно к выходу измерительного усилителя. В последнем случае постоянная ускорения обработки  $b$  должна равняться единице.

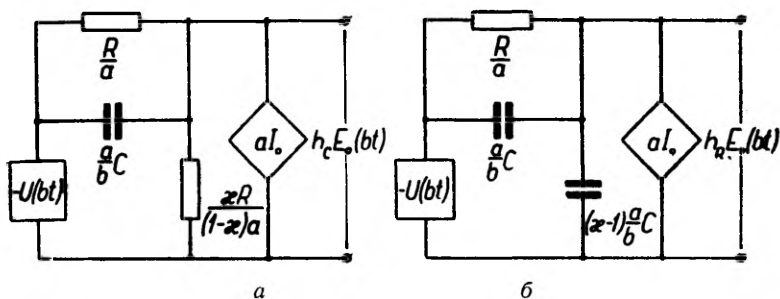


Рис. 4. Схемы для определения  $E_0(t)$  по  $U(t)$ .  
а — при  $x \leq 1$ , б — при  $x \geq 1$ . Коэффициенты  $a$  и  $b$  — произвольные числа.

Применение формул (19, 20) или аналоговых схем рис. 4 на практике существенно затрудняет нестабильность сопротивления антенны.

При вычислении  $E_0(t)$  по записи  $U(t)$  недопустимость пренебрежения индуцированным током наиболее разительна. Если наблюдения проведены во время грозы, то обработка данных коллекторных измерений по формуле, рекомендованной в работе [Angenheister, 1924], приводит к нелепости: вычисленное  $E_0$  зачастую превышает пробивную напряженность.

7. Основные методы измерения. Вычисление  $E_0(t)$  по функции  $U(t)$  случайной антенны неудобно. На практике атмосферно-электрических измерений применяются специальные антенны, обеспечивающие простую обработку наблюдений.

А. Проводимостный метод основан на формуле (16), откуда  $E_0 = -U/h_R$ . Для стабилизации  $h_R$  и подавления ошибок измерения, определяемых другими слагаемыми формулы (20), к антенне прикрепляется коллектор. Коллектор создает около себя сильную ионизацию и уменьшает сопротивление антенны.

Б. Индукционный метод основан на формуле (17). Для создания скачка напряженности антенна до измерения экранируется. Если отсчет берется за время  $t \ll \tau$  после удаления экрана, то  $E_0 = -U/h_c$ . Прибор конструируется так, чтобы сопротивления антенны и постоянная времени  $\tau$  были по возможности большие. Индукционный метод применяется еще для регистрации низкочастотных атмосфериков. В последнем случае постоянная составляющая напряженности поля не подлежит регистрации и циклического экранирования антенны не требуется.

В. Метод пассивной антенны [Crozier, 1963, 1965] опирается на теоретические соображения Леколазе. Хотя метод пассивной антенны создан как модификация проводимостного метода, его нельзя причислить к классическому проводимостному методу. Детальный анализ показывает, что метод пассивной антенны ближе к индукционному методу. Некоторые недостатки метода пассивной антенны описаны в сообщении [Dolezalek, 1963].

Г. Метод модулирующей антенны основан на применении антенны с переменными параметрами. В случае переменной  $h_c$  мощность выходного сигнала берется от модулятора (генераторный метод). Теория метода модулирующей антенны должна исходить из уравнения (3).

Д. Антенну в режиме  $U=0$  можно применять для измерения плотности тока проводимости. Если  $dE_0/dt=0$  и  $I_0=0$ , то плотность тока проводимости  $j=I/S_0$ , где  $I$  — сила тока с антенны на землю. Обсуждение таких измерений можно найти в работах [Kasemir, Ruhnke, 1958; Chalmers, 1962].

Е. Антенной, которая экранирована заземленной сеткой, можно измерить силу конвективного тока  $I_0$ .

8. Инерционность проводимостного метода. Следует различать инерционность измерительного прибора при включении прибора и при изменении измеряемой величины. Инерционность включения проводимостной антенны описывает последнее слагаемое формул (14, 15). Постоянная времени переходного процесса равна  $RC$ , откуда следует известная возможность измерения сопротивления коллектора. При длительных наблюдениях инерционность включения не существенна.

Инерционность антенны при изменениях напряженности электрического поля обычно ошибочно отождествлялась с инерционностью включения. В экспериментальных исследованиях, например [Wigand, Kirchner, 1927], непосредственно определялась только инерционность включения, что не позволяло обнаружить недостаточность теории. Ошибка в теории привела и к неудачным предложениям усовершенствования экспериментальных устройств [Grigoriu, 1957]. Правильный подход к проблеме инерционности можно найти лишь в работах [Grenet, 1934a, 1934b; Lecolazet, 1946; Crozier, 1963].

Согласно формуле (15), ошибка, обусловленная пренебрежением инерционностью антенны, выражается следующим образом:

$$\Delta E_0 = (1 - \kappa) \int_{-\infty}^t \frac{dE_0(t')}{dt'} e^{-\frac{t-t'}{\tau}} dt' \quad (21)$$

Если  $|dE_0/dt| \leq A$ , то ошибка от инерционности не превышает  $\tau(1 - \kappa)A$ . Для подавления ошибки можно уменьшить  $\tau$ . Как известно, это приводит к увеличению некоторых других ошибок измерения [Имянитов, 1957; Mühleisen, 1951; Röncke, 1962; Dolezalek, 1964; Israëli, 1961; 1964]. Более эффективно уменьшение разности  $1 - \kappa$ . Такой прием на практике совсем новый [Crozier, 1965].

Рассмотрим еще инерционность антенны на двух классических примерах:

А. Если измеряемое поле имеет синусоидальную составляющую с угловой частотой  $\omega$ , то коэффициент искажения амплитуды этой составляющей будет

$$K = \sqrt{\frac{1 + (\kappa\omega\tau)^2}{1 + (\omega\tau)^2}} \quad (22)$$

В области низких частот коэффициент искажения приближается к единице, в области высоких частот — к отношению  $\kappa$ .

Б. Если при  $t < 0$  напряженность электрического поля равна нулю, а при  $t \geq 0$  постоянному значению  $E_{00}$ , то напряжение антенны в момент  $t = 0$  вырастет мгновенно до значения  $-h_c E_{00}$ , а затем будет экспоненциально приближаться к предельному значению  $-h_R E_{00}$ .

9. Проводимостная ошибка индукционного метода. При вычислении  $E_0$  по формуле (17) ошибкой является слагаемая с интегралом из выражения (14):

$$\Delta E_0 = \frac{\kappa - 1}{\kappa\tau} \int_{t_0}^t E_0(t') e^{-\frac{t-t'}{\tau}} dt' \quad (23)$$

За время от  $t = -\infty$  до момента удаления экрана  $t = t_0$  напряженность поля равна нулю, и этот промежуток времени выпущен из области интегрирования. По теореме среднего значения интеграла найдем

$$\Delta E_0 = \left(1 - e^{-\frac{t-t_0}{\tau}}\right) \frac{\kappa - 1}{\kappa} \bar{E}_0, \quad (24)$$

где  $\bar{E}_0$  — некоторая средняя напряженность поля за время от  $t_0$  до  $t$ .

Если игнорировать проводимостную эффективную высоту антенны, то  $(\kappa-1)/\kappa=1$ , и единственным способом подавления проводимостной ошибки может быть уменьшение отношения  $(t-t_0)/\tau$ . Однако из представленных соображений вытекает более эффективный способ устранения проводимостной ошибки путем уменьшения разности  $\kappa-1$ .

В принципе проводимостную ошибку можно исключить и расчетным путем, обрабатывая наблюдения по формуле (19) или аналоговой схемой рис. 4. Именно такой подход полностью устраняет разрыв между проводимостным и индукционным методом также в случае  $\kappa \neq 1$ .

При  $\kappa=1$  проводимостная ошибка полностью устраняется, независимо от времени экспонирования антенны, и индукционный прибор способен к непрерывным измерениям. Такой подход к идее метода пассивной антенны наиболее естественен.

10. Уравновешивание антенны. Антенну с  $h_C=h_R$  можно назвать уравновешенной или безынерционной. Такая антенна может быть пассивной или снабженной коллектором. При измерениях с уравновешенной антенной нельзя различать проводимостный и индукционный методы.

Любую антенну можно мысленно разделить на части таким образом, что индукционная и проводимостная эффективные высоты каждой отдельной части между собой равны. Равенство эффективных высот имеет, безусловно, место, если отдельные части расположены в однородных средах. Эффективные высоты целой антенны будут

$$h_C = \sum_i \frac{C_i}{C} h_i, \quad (25)$$

$$h_R = \sum_i \frac{R_i}{R} h_i, \quad (26)$$

где  $C_i$  — емкость,  $R_i$  — сопротивление и  $h_i$  — эффективная высота отдельной части. Условие уравновешенности антенны  $h_C=h_R$  следующее:

$$\sum_i \sum_j \left( \frac{C_i}{R_j} - \frac{C_j}{R_i} \right) h_i = 0. \quad (27)$$

В качестве примера рассмотрим антенну, состоящую из экранированной части с параметрами  $R_p$ ,  $C_p$  и  $h_p=0$ , стержня с параметрами  $R_t$ ,  $C_t$  и  $h_t$  и коллектора с параметрами  $R_k$ ,  $C_k$  и  $h_k$ .  $h_k$  можно регулировать выбором точки крепления коллектора к стержню. По уравнению (27) можно вычислить необходимое для уравновешивания антенны значение  $h_k$ :



$$h_k = \frac{R_t C_t (R_p + R_k) - R_p R_k (C_p + C_k)}{R_p R_t (C_p + C_t) - R_k C_k (R_p + R_t)} h_t. \quad (28)$$

Если  $R_k$  значительно меньше  $R_p$  и  $R_t$ , то это выражение упрощается:

$$h_k = \frac{C_t}{C_p + C_t} h_t. \quad (29)$$

Антенна с параметрами  $h_C$ ,  $h_R$  и  $C$  может уравниваться присоединением к ней дополнительного электрода. Если дополнительный электрод располагается в однородной среде и его сопротивление значительно больше сопротивления остальной части антенны, то его эффективная высота  $h'$  и емкость  $C'$  должны удовлетворять условию

$$h' = h_R + \frac{C}{C'} (h_R - h_C) \quad (30)$$

В случае  $\kappa > 1$  можно применять экранированный электрод (шунтирующий конденсатор) с параметрами  $h' = 0$  и  $C' = (\kappa - 1)C$ .

В случае  $\kappa < 1$  принципиально можно уравнивать антенну шунтирующим сопротивлением. Однако такой прием на практике неудовлетворителен ввиду неустойчивости  $h_R$  шунтированной антенны.

Неустойчивость равновесия антенны определяется в основном неустойчивостью проводимостной эффективной высоты, так как индукционная эффективная высота относительно стабильна. Равновесие пассивных антенн трудно стабилизировать, так как сопротивление пассивной антенны большое и малейшая утечка по изоляторам способна заметно уменьшить  $h_R$ . Проводимостную эффективную высоту легко фиксировать радиоактивным коллектором с небольшой активностью.

11. Модулирующие антенны. Параметрическую модуляцию выходного сигнала антенны обычно осуществляют переменной индукционной эффективной высотой. При этом и другие параметры антенны могут стать переменными и выходное напряжение приходится вычислять по уравнению (3). Решение этого уравнения для длительно включенного прибора следующее:

$$U = -h_C E_0 + \frac{1}{C} \int_{-\infty}^t \frac{h_C - h_R}{R} E_0 e^{t' \int_{-\infty}^{t'} \frac{dt''}{RC}} dt' + \frac{1}{C} \int_{-\infty}^t I_0 e^{t' \int_{-\infty}^{t'} \frac{dt''}{RC}} dt' \quad (31)$$

Если  $R$  и  $C$  можно считать постоянными, то эта формула упрощается:

$$U = -h_C E_0 + \frac{1}{\tau} \int_{-\infty}^t (h_C - h_R) E_0 e^{-\frac{t-t'}{\tau}} dt' + \int_{-\infty}^t \frac{I_0}{C} e^{-\frac{t-t'}{\tau}} dt', \quad (32)$$

$$U = -\tau \frac{d(h_C E_0)}{dt} + \tau \int_{-\infty}^t \frac{d^2(h_C E_0)}{dt^2} e^{-\frac{t-t'}{\tau}} dt' - \int_{-\infty}^t \frac{h_R}{\tau} E_0 e^{-\frac{t-t'}{\tau}} dt' + \\ + \int_{-\infty}^t \frac{I_0}{C} e^{-\frac{t-t'}{\tau}} dt' \quad (33)$$

Выражения (32) и (33) тождественны.

Из формул (32, 33) легко получить известные выводы: в случае  $\omega\tau \gg 1$  ( $\omega$  — частота  $h_C(t)$ ) амплитуда напряжения определяется амплитудой  $h_C E_0 = \varepsilon_0 E_0 S_0 / C^*$  а в случае  $\omega\tau \ll 1$  — амплитудой  $\tau \frac{d(h_C E_0)}{dt} = \varepsilon_0 R \frac{d(S_0 E_0)}{dt}^*$ . Основной новый вывод состоит в том, что при условии  $h_R \equiv h_C$  второе слагаемое общей формулы (31) обращается в нуль, и ошибка, связанная с модулированием проводимостного тока, устраняется. Возможность уравнивания антенны электростатического флюксметра имеет практическое значение при измерениях в сильно ионизированной среде, где учет или устранение модулированного проводимостного тока другими способами представляет затруднения. Уравнивание антенны не устраняет ошибку от модулированного конвективного тока, описываемую последним слагаемым формул (31, 32, 33). Модулирование конвективного тока можно предотвратить специальной конструкцией полемера [Шварц, Андреева, Бородулина, 1967], однако при нормальном давлении модулирование проводимостного тока так устранить нельзя.

В условиях сильной ионизации модуляционный полемер можно устроить из проводимостного прибора с переменной  $h_R$ . С этой точки зрения представляет интерес эксперимент, описанный в работе [Mozer, Bruston, 1967].

Детектирование напряжения модулирующей антенны вводит в измерительный прибор инерционность. Возможности повышения частоты модуляции [Malap, Schonland, 1950] ограничены. Более эффективно совмещение генераторного метода с обычным индукционным методом. Один вариант такого совмещения описан в работе [Smith, 1954]. Несколько проще двухканальная система, состоящая из обычного генераторного полемера (канал низких частот) и индукционной антенны с постоянными параметрами (канал высоких частот)

\* Выражения действительны только в системе единиц СИ.

## ЛИТЕРАТУРА

- Имянитов И. М., 1957. Приборы и методы для изучения электричества атмосферы. Гостехтеоретиздат, М.
- Шварц Я. М., Андреева С. И., Бородулина В. Г., 1967. Возможности и опыт создания электростатического флюксметра вибрационного типа. Тр. Гл. геофиз. обсерв., 204, 18—27.
- Angenheister, G., 1924. Die Wirkung des Regens auf die Registrierung des Potentialgefälles der Atmosphäre. Nachr. Königl. Ges. Wiss. zu Göttingen, Math.-phys. Kl. aus d. J. 1924, S. 105—115.
- Benndorf, H., 1909. Zur Theorie lufterlektrischer Registrierungen I, Sitzungsber. Wien. Akad. Wiss. II a, 118, S. 1163—1195.
- Builder, G., 1930. Preliminary note on the atmospheric potentials recorded with ionium — collectors. Terr. Magn. and Atmos. Electr. 35 (Nr. 1), p. 35—41.
- Chalmers, J. A., 1962. The measurement of the vertical electric current in the atmosphere, J. Atmos. and Terr. Phys. 24 (Nr. 4), p. 297—302.
- Grozier, W. D., 1963. Measuring atmospheric potential with passive antennas. J. Geophys. Res. 68 (Nr. 18), p. 5173—5179.
- Grozier, W. D., 1965. Atmospheric electrical profiles below three meters. J. Geophys. Res. 70 (Nr. 12), p. 2785—2792.
- Dolezalek, H., 1960. a. Zur Berechnung des lufterlektrischen Stromkreises II: Über die Gültigkeit des Ohmschen Gesetzes in der Atmosphäre. Geofis. pura e appl. 45, p. 273—297.
- Dolezalek, H., 1960 b. Das Ersatzschaltbild für den radioaktiven Kollektor zur Messung der lufterlektrischen Feldstärke. Gerlands Beitr. Geophys. 69 (H2), S. 87—94.
- Dolezalek, H., 1963. Passive antenna and collector antenna for the measurement of the atmospheric electric potential. J. Geophys. Res. 68 (Nr. 18), p. 5181—5181.
- Dolezalek, H., 1964. Der radioaktive Kollektor bei lufterlektrischen Sondierungen. Diskussionbeitrag zu einer Veröffentlichung von G. Röncke. Z. Geophys. 30, Nr. 1, S. 43—44.
- Grenet, G., 1934 a. Sur la mesure des variations brusques du champ électrique. C. r. 67. Congr. Soc. savantes, Paris, p. 232—236.
- Grenet, G., 1934 b. Sur la mesure du champ électrique terrestre et de ses variations. C. r. Acad. sci. 198 (Nr. 10), p. 967—968.
- Grigoriu, A., 1957. Înălțarea efectului datorit inerției egalizatorului de potențial în măsurarea câmpului electric terestru. Bul. științ. Sec. mat. fiz. (Acad. RPR) 9 (Nr. 1), p. 201—207.
- Israel, H., 1955. Meßgeräte und Arbeitsmethoden bei lufterlektrischen Untersuchungen II. Messungen des elektr. Feldes (Potentialgefälles) in der Atmosphäre. Arch. techn. Messen Nr. 233, S. 125—128.
- Israel, H., 1961. Atmosphärische Elektrizität II. Akad. Verlagsges. Geest & Portig K.-G., Leipzig.
- Israel, H., 1964. Zur Verwendung des radioaktiven Kollektors in der lufterlektrischen Meßtechnik. Z. Geophys. 30 (Nr. 3), S. 152—153.
- Kasemir, H. W., Ruhnke, L. H., 1958. Antenna problems of measurement of the air-earth current. In "Recent Advances in Atmospheric Electricity" Perg. Press, London—New-York—Paris—Los Angeles, p. 137—147.
- Lecolazet, R., 1946. Sur la définition et la théorie des prises de potentiel en électricité atmosphérique. C. r. Acad. sci. 222 (Nr. 6), p. 331—332.
- Malan, D. J., Schonland, B. F. J., 1950. An electrostatic fluxmeter of short response-time for use in studies of transient field-changes. Proc. Phys. Soc. London B 63, p. 402—408.
- Mozar, F. S., Bruston, P., 1967. Electric field measurements in the auroral ionosphere. J. Geophys. Res. 72 (Nr. 3), p. 1109—1114.
- Mühleisen, R., 1951. Zur Methodik der lufterlektrischen Potentialmessung: Einfluss des Windes bei radioaktiven Kollektoren. Z. Naturforsch. 6a (H11), S. 667—671.

Röncke, G., 1962. Erfahrungen mit luftelektrischen Sondierungen in der freien Atmosphäre. Z. Geophys. 28 (H 3), S. 105—126.

Smith, L. G., 1954. An electric field meter with extended frequency range. Rev. Sci. Instr. 25 (Nr. 5), p. 510—513.

Wagner, R., 1955. Zur Messung des luftelektrischen Potentialgefälles mittels Kollektoren. Arch. Meteorol. Geophys. und Bioklimatol. A 8 (H 4), S. 427—464.

Wigand, A., Kirchner, H., 1927. Schnellwirkende luftelektrische Kollektoren. Gerlands Beitr. Geophys. 17, S. 379—385.

Поступила 4/III 1969 г.

## ATMOSFÄÄRI ELEKTRIVÄLJA TUGEVUSE MÕOTMISE TEOORIAST

H. Tammet

Resümee

Atmosfääri elektrivälja tugevuse mõõtmise juhtivusmeetodi (kollektormõõteriistad), induktsioonimeetodi (Wilsoni riist) ja generaatormeetodi (rootorväljatugevusmõõtjad) teooriate isoleeritus teineteisest raskendab nende meetodite iseärasuste mõistmist ja võib viia isegi ekslikele järeldustele. Näiteks kollektorantenni inertsi käsitlus enamikus uurimistöödest on nimetatud asjaolu tõttu häirivalt puudulik.

Antenniks nimetame elektroodi, mille pinge järgi otsustatakse väljatugevuse üle. Antenni pinge sõltuvust väljatugevusest on võimalik kirjeldada kõigi mõõtmismeetodite jaoks ühise võrrandiga (3). Selle võrrandi parameetriteks on antenni mahtuvus, takistus ja kaks efektiivkõrgust. Valemitega (5, 6) kirjeldatava induktsioon-efektiivkõrguse  $h_c$  mõiste langeb kokku induktsioonmõõteriista antenni efektiivkõrguse mõistega. Valemitega (7, 8) kirjeldatava juhtivusefektiivkõrguse mõiste langeb kokku kollektormõõteriista referentspunkti redutseeritud kõrguse mõistega. Efektiivkõrguste suhe  $\kappa = h_c/h_R$  sõltub antenni ja varjestavate elektroodide paigutusest ning antenni koormusest.

Mõõtmismeetodite analüüsimiseks võiks kasutada joon. 3 esitatud ekvivalentskeeme, mille võrrandid on antenni võrrandiga identsed. Autor on aga püüdnud vältida otsest tuginemist lineaar-ahelate teooria valmistulemustele.

Konstantsete parameetritega antenni võrrandit saab lahendada nii  $U$  kui ka  $E_0$  suhtes. Esimesel juhul on lahendiks teineteisega samased valemid (14, 15), teisel juhul valemid (19, 20). Viimased valemid ja nende analoogskeemid (joon. 4) on kasutatavad vaatlusandmete töötlemisel. Vaatlusandmete niisuguse töötlemise korral kaob põhimõtteline vahe juhtivus- ja induktsioonimeetodi vahel.

Valemid (14, 15) võimaldavad kirjeldada juhtivusmeetodi inertsi. Väljatugevuse hüppelise muutuse korral antenni pinge muutub osalt hüppena, osalt eksponentsiaalse lähenemisena lõppväärtusele.  $h_c = h_R$ , siis eksponentsiaalne osa puudub ja antenni pinge jälgib väljatugevuse muutusi inertsivabalt. Valemite (14, 15) abil saab hinnata ka induktsoonimeetodi juhtivuslikke vigu. Tingimusel  $h_c = h_R$  on need vead välditud.

Võrdsete efektiivkõrgustega antenni nimetame tasakaalustatuks. Kui antenn koosneb üksikosadest parameetritega  $C_i$ ,  $R_i$  ja  $h_i$ , siis tasakaalustatuse tingimus avaldub võrrandina (27). Selle võrrandi abil võib leida kollektori kinnituspunkti, mille korral antenn on tasakaalustatud, või määrata antenni tasakaalustamiseks tarviliku lisaelektroodi parameetrid.

Ka generaator-väljatugevusmõõtja antenni on võimalik tasakaalustada, mis võimaldab teha korrektseid mõõtmisi tugevalt ioniseeritud keskkonnas.

## ON THE THEORY OF THE MEASUREMENT OF THE ATMOSPHERIC ELECTRIC FIELD

H. Tammet

### Summary

Isolation of the theories dealing with the measuring of the atmospheric electric field by the conductivity method (collector measuring instruments), the induction method (the Wilson instrument) and the generator method (field mills) makes it rather difficult to understand the peculiarities of these methods and may even lead to erroneous conclusions. Thus, the treatment of the inertia of the collector antenna is in most investigations embarrassingly inadequate.

An antenna in this study is an electrode by whose voltage one determines electric field intensity. The dependence of the voltage of an antenna on field intensity can be described by equation (3), which is common to all methods of measurement. The parameters of this equation include the capacitance, resistance and two effective heights of the antenna. The concept of the induction effective height  $h_c$  described by formulas (5, 6) coincides with the notion of the effective height of the antenna of a induction measuring instrument. The ratio of the effective heights  $\kappa = h_c/h_R$  depends on the location of the antenna and the screen electrodes as well as on the antenna load.

To analyze the measuring methods, it is possible to use equivalence diagrams presented in Fig. 3 whose equations are identical with the equation of the antenna. The author, however, tried to

avoid relying directly on the ready results of the theory of linear chains.

The equation of an antenna with constant parameters can be solved for  $U$  as well as for  $E_0$ . As solutions serve in the former case two identical formulas (14,15), in the latter case — formulas (19,20) and their analogue schemes (Fig. 4) are applicable to the processing of observational data. In case observational data are processed in the way indicated here, the fundamental difference between the conductivity and induction methods disappears.

Formulas (14,15) make it possible to describe the inertia of the conductivity method. In the case of a sudden change in field intensity, the voltage of the antenna changes partly by way of a leap, partly as an exponential approximation to the final value. If  $h_c = h_R$ , then the exponential part is missing and the voltage of the antenna follows changes in field intensity free of inertia. By means of formulas (14, 15) it is possible to assess errors in conductivity inherent in the induction method. Provided that  $h_c = h_R$ , these errors are avoided.

An antenna with equal effective heights is called a balanced one. If the antenna consists of components having parameters  $C_i$ ,  $R_i$  and  $h_i$ , the condition of balance is expressed by equation (27). By means of this equation it is possible to find the point of fixation of a collector device, in which case the antenna would be balanced, or to determine the parameter  $s$  of the additional electrode required for the balancing of the antenna.

It is also possible to balance the antenna of a field mill, which enables one to carry out correct measurements in a strongly ionized medium.

## СЧЕТЧИК АЭРОИОНОВ САИ — ТГУ — 66

Х. Ф. Таммет

В теории электропроводности воздуха ионы и заряженные аэрозольные частицы рассматриваются с единой точки зрения. Неудобное словосочетание «ионы и заряженные аэрозольные частицы» заменяется иногда термином «атмосферные ионы», а иногда более коротким и универсальным термином «аэроионы».

При тепловом равновесии и при некоторых методах искусственной зарядки частиц распределение зарядов частиц определенного размера известно. Это дает возможность вычислить спектр размеров частиц по результатам измерения спектра подвижностей аэроионов. Такой косвенный путь определения спектра размеров частиц может быть проще непосредственного измерения, а в случае изучения сверхмелкодисперсных аэрозолей может оказаться единственным.

Известен также электрический метод интегрального детектирования аэрозолей, основанный на адсорбции легких аэроионов аэрозольными частицами.

Для спектральных измерений аэрозолей применяются счетчики ультратяжелых, тяжелых и средних аэроионов, для интегрального детектирования — счетчики легких аэроионов.

Дефицит счетчиков, пригодных для изучения аэрозолей, объясняется серьезными техническими затруднениями, с которыми приходится сталкиваться при их разработке. Точное измерение силы тока порядка  $10^{-14}$  —  $10^{-12}$  а и обеспечение стабильности напряжения питания измерительного конденсатора порядка  $10^{-6}$  не простые задачи. Особенно трудно добиться удовлетворительных результатов в области малых предельных подвижностей, представляющих для нас основной интерес.

Счетчик аэроионов САИ—ТГУ—66 — последняя модель серии постепенно усовершенствованных приборов САИ—ТГУ—64, САИ—ТГУ—65 и САИ—ТГУ—65<sub>м</sub> [Таммет, 1967]. Его назначение — измерение условной плотности заряда воздуха. Условной плотностью заряда  $P$  называется отношение силы тока осаждающихся в счетчике аэроионов к расходу (объемной скорости) протягиваемого воздуха. Иногда условная плотность заряда, выра-

женная в *эл. зар.* на  $см^3$ , называется концентрацией аэроионов. Снимая характеристику  $P = P(k_0)$ , где  $k_0$  — предельная подвижность, можно вычислить спектр подвижностей аэроионов. САИ—ТГУ—66 отличается универсальностью и высокой чувствительностью, но уступает по разрешающей способности специальным аэрозольным спектрометрам и не предназначен для их замены.

Основным узлом счетчика является измерительный конденсатор, показанный на рис. 1 в разрезе. Конденсатор расположен вертикально. Исследуемый воздух втекает сверху через коническую входную трубу (2) и вытягивается через штуцер (10). Внешняя обкладка (5) подключена к электрометру, а внутренняя (7) — к источнику напряжения. Это позволяет заземлить нулевую клемму электрометра и одновременно избавиться от краевого эффекта. Малое отношение радиусов обкладок расширяет диапазон измерения в сторону больших плотностей заряда. Действующая емкость измерительного конденсатора 51 *пф*.

Проникновению электрического поля сквозь входное отверстие препятствует сетка (3). Сетка позволяет заметно сократить длину внешней обкладки. Остаточная проходная емкость 0,002 *пф* настолько мала, что краевым эффектом можно пренебречь. Адсорбция легких аэроионов на сетке при максимальном расходе составляет 2—3%. Сетка предотвращает доступ к высоковольтной внутренней обкладке, препятствует попаданию насекомых в измерительный конденсатор и в некоторой степени уменьшает турбулентность протекающего воздуха.

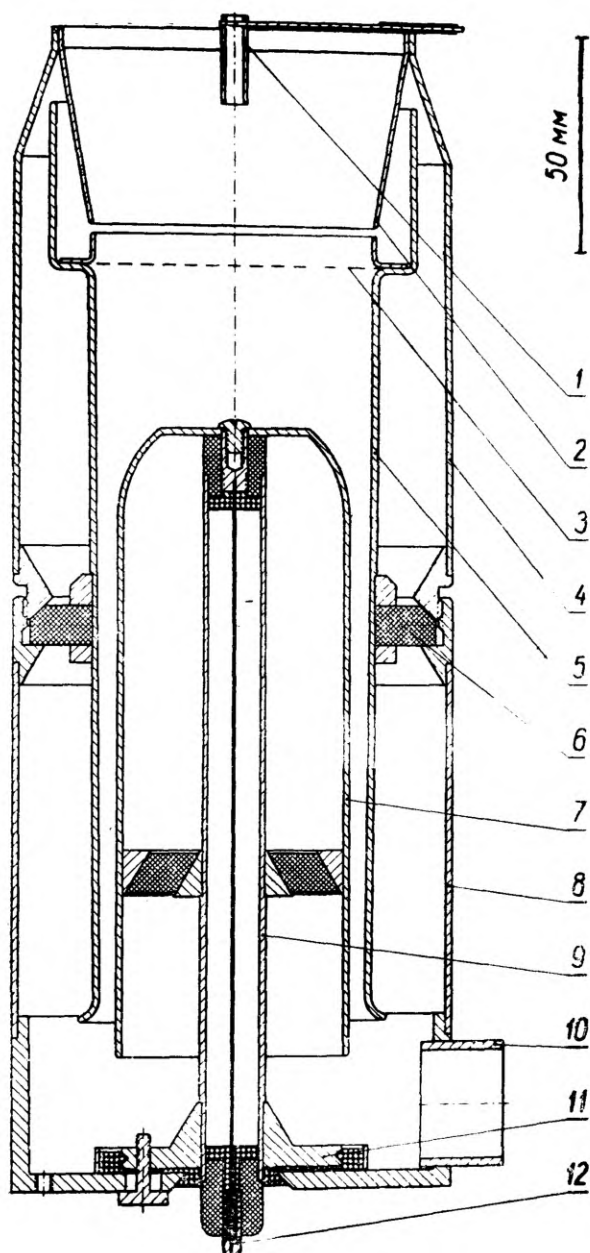
Для подавления турбулентности внешней обкладке придана небольшая конусность. Внешняя обкладка прикреплена к кольцевому фторопластовому изолятору (6), который зажат между нижней (8) и верхней заземленными экранными трубами. После отвинчивания верхней экранной трубы внешняя обкладка вместе с изолятором свободно вынимается и конденсатор разобран для чистки. Сила паразитного тока, генерируемого кольцевым изолятором, порядка  $10^{-15}$  *а*. Вывод внешней обкладки сквозь кольцевой изолятор на рисунке не показан.

Внутренняя обкладка прикреплена к центральной опорной трубке (9), что предотвращает искажение симметрии измерительного конденсатора. Вывод внутренней обкладки (12) сделан вдоль оси опорной трубки. Система центрирования внутренней обкладки (11) имеет шесть степеней свободы. После подрегулировки она фиксируется эпоксидным компаундом.

Действующая емкость предварительного конденсатора со съемной внутренней обкладкой (1) 1 *пф*. Внешней обкладкой предварительного конденсатора служит входная труба.

Функциональная схема счетчика представлена на рис. 2. Центробежный вентилятор имеет привод от синхронного электродвигателя. Переключаемая дроссельная диафрагма обеспечивает рас-





Р и с. 1. Измерительный конденсатор.

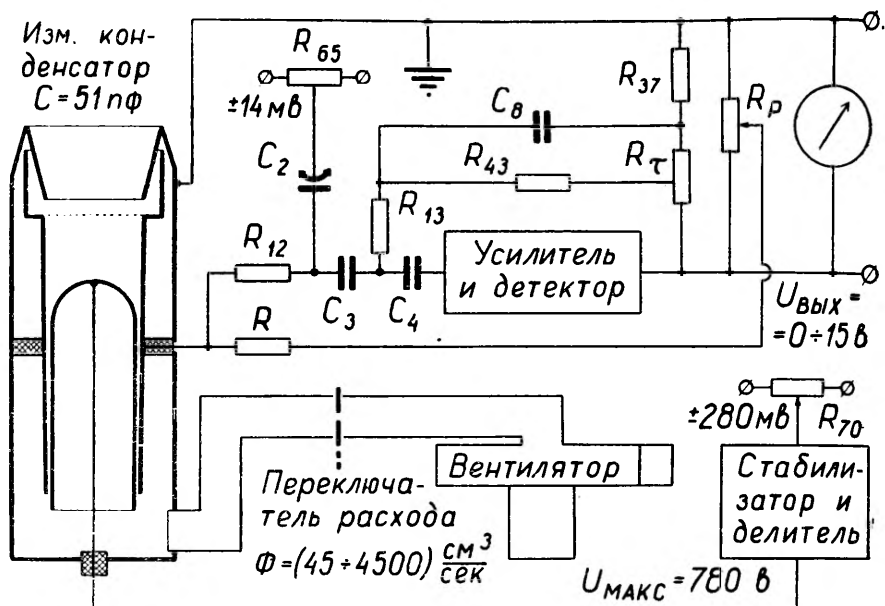


Рис. 2. Функциональная схема.

ход 45; 142,5; 450; 1425 или 4500  $\text{см}^3/\text{сек}$  Переключение расхода калиброванными диафрагмами удобнее, точнее и надежнее, чем регулирование расхода по ротаметру. Большой максимальный расход способствует достижению высокой чувствительности.

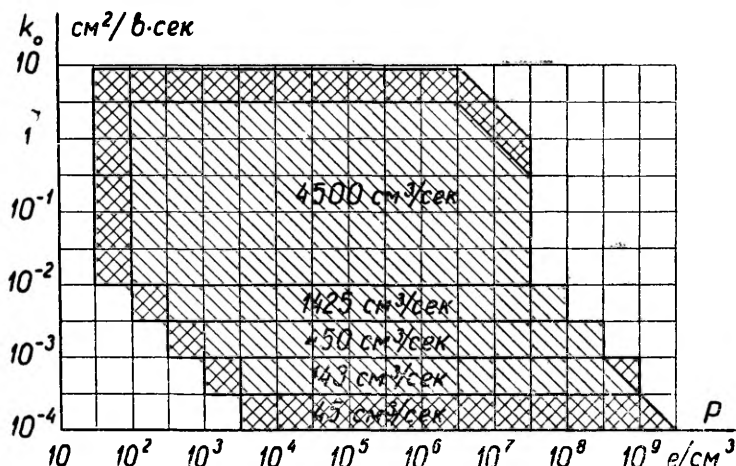
Максимальное напряжение внутренней обкладки 780 в. Стабилитроны *СГ 301С* имеют среднеквадратическую минутную нестабильность напряжения порядка 0,0001%, что позволяет отказаться от весьма неудобной мостовой схемы измерительной цепи. Переключатель расхода и делитель напряжения на микропроводных резисторах обеспечивают 50 номиналов предельной подвижности 0,0001 · 8  $\text{см}^2/\text{в. сек}$ . Диапазон разбит согласно последовательности: 1; 1,26; 2; 2,5; 3,2; 4; 5; 6,3; 8. Нулевая клемма источника напряжения подключена к потенциометру компенсации контактной разности потенциалов обкладок измерительного конденсатора.

Напряжение предварительного конденсатора 0 или 110 в, предельная подвижность при расходе 142,5  $\text{см}^3/\text{сек}$  равна 0,1  $\text{см}^2/\text{в. сек}$ .

Электрометр компенсирует входной ток током через резистор *R*. Напряжение динамического конденсатора  $C_2$ , связанного входом через сопротивление  $R_{12} = 10^{11}$  ом, не превышает 1,5 мв, что практически устраняет утечку по изолятору внешней обклад-

ки измерительного конденсатора. Нормальный предел напряжения на измерительном резисторе  $R$  равен 228 мв. Переключаемый делитель  $R_p$  позволяет понизить это значение на 144 или 72 мв. Переключаемый резистор  $R$  имеет 11 возможных значений сопротивления  $10^7$  —  $10^{12}$  ом. Всего 35 поддиапазонов по условной плотности заряда — от 0 — 100 до 0 —  $3,16 \cdot 10^9$  эл. зар/см<sup>3</sup>. Пределы поддиапазонов соответствуют последовательности: 1; 2; 3,16; 6,32.

Основная приведенная погрешность измерения до 5%. Реальные пределы измерения при 5 — 10% допустимой погрешности показаны заштриховкой на рис. 3. Перекрестная заштриховка показывает область, где оценка погрешности сложнее.



Р и с. 3. Пределы измерения.

Выход электрометра 15 в, 5 ма позволяет подключить малогабаритные самопишущие вольтметры. От делителя можно получить для разных самописцев напряжение до 10; 100 или 150 мв. Имеется стандартный выход 5 ма на 2,4 ком для управления автоматикой.

Дополнительная цепь обратной связи ( $R_{13}$ ,  $R_{37}$ ,  $R_{43}$ ,  $C_3$ ,  $C_8$  и пятипозиционный переключаемый делитель  $R_7$ ) служит для регулировки инерционности прибора. Увеличение инерционности иногда полезно, так как это сглаживает случайные колебания измеряемой величины. Время успокоения при  $R = 10^{12}$  ом регулируется в пределах 35 — 3500 сек, при  $R \leq 10^{10}$  ом — в пределах 2 — 300 сек.

Потенциометром  $R_{65}$  производится установка нуля.

Переключение напряжения измерительного конденсатора или 160% зашкаливание прибора заставляет срабатывать цепь автоблокировки, включающую нулевой режим.

Дрейф нуля электрометра в течение первого часа после включения при нормальном положении делителя  $R_p$  не превышает 2% от предела измерения. После часового прогрева дрейф незаметный. Собственным шумом электрометра можно пренебречь.

Конструкция прибора подчинена рациональному расположению органов управления. Предельная подвижность устанавливается без предварительных вычислений тремя ручками по таблицам, нанесенным на переднюю панель. Таким же образом устанавливается поддиапазон по условной плотности заряда. Шкала условной плотности заряда градуирована в *эл. зар./см<sup>3</sup>*

Габариты счетчика  $45 \times 33 \times 23$  см, вес не более 12 кг. Питание от сети переменного тока или от преобразователя, потребляемая мощность не превышает 45 вт

### Сводка основных отличительных особенностей счетчика САИ—ТГУ—66

1. Метод внешней собирающей обкладки, исключающий краевой эффект.
2. Конический измерительный конденсатор.
3. Симметричное крепление внутренней обкладки.
4. Наличие входной сетки.
5. Наличие предварительного конденсатора.
6. Широкий диапазон предельных подвижностей.
7. Широкий диапазон условной плотности заряда и пониженная чувствительность к искажающему действию электрического поля объемного заряда.
8. Высокостабильный выпрямитель, позволяющий отказаться от батарей и мостовой схемы.
9. Регулируемая инерционность.
10. Компенсация контактной разности потенциалов.
11. Дискретное регулирование расхода.
12. Установка режима и отсчет без вычислений.
13. Автоблокировка.
14. Мощный выход для малогабаритных самописцев и автоматики.
15. Небольшие габариты и вес.

### ЛИТЕРАТУРА

Таммет Х. Ф., 1967. Аспирационный метод измерения спектра аэроионов. Уч. зап. Тартуского гос. ун-та, вып. 195.

Поступила 4/1 1969 г.

## AEROIOONIDE LOENDUR CAH-TGY-66

H. Tammet

Resümee

Artiklis kirjeldatakse universaalset kantavat integraalset aeroioonide loendurit, mille iseärasusteks on ääreefektivaba maandatud elektromeetriga lülitusskeem, sümmeetriliselt kinnitatud sisekattega kooniline mõõtekondensaator, sisendvõrk, sisseehitatud eelkondensaator, lai piirliikuvuste vahemik ja mõõtepiirkond, mõõtekondensaatori toide 0,0001% ebastabiilsusega alaldist, reguleeritav inertsus, kontaktpinge kompensatsioon, diskreetne õhukulu regulaator, skaalad režiimi seadmiseks ja näidu leidmiseks ilma arvutustööta, automaatblokeerimine, võimas väljund väikesegabariidiliste registraatorite ja automaatika jaoks, väike gabariit ja kaal.

## AIR ION COUNTER CAH-TGY-66

H. Tammet

Summary

The article describes an all-purpose portable integral counter of air ions, which is characterized by an end-effectless electric circuit with a grounded electrometer, a conical measuring condenser, a symmetrically fixed internal cover, an entrance gauze, a built-in precondenser, a wide measurement range of mobilities and concentrations, the voltage supply of the measuring condenser obtained from a rectifier having an unstability of 0,0001%, adjustable inertia, compensation of contact voltage, a discrete regulator of the air-flow rate, scales for the adjustment of the operating conditions and for finding the reading without any calculation, automatic blocking, a powerful output for miniature records and automatic controllers, small dimensions and weight.

## КАЖУЩИЙСЯ СПЕКТР АЭРОИОНОВ ПРИ УЧЕТЕ ТЕПЛОВОЙ ДИФФУЗИИ

Я. И. Сальм

Самой общей задачей, которая решается с помощью счетчика аэроионов, является снятие спектра аэроионов. Ради краткости спектром аэроионов будем называть нормированную спектральную функцию, определенную предельным переходом

$$f(k) = \lim_{\Delta k \rightarrow 0} \frac{q(k, k + \Delta k)}{q(0, \infty) \Delta k},$$

где  $q(k, k + \Delta k)$  — полярная (+ или —) плотность заряда, обусловленная аэроионами, имеющими подвижность в промежутке от  $k$  до  $k + \Delta k$ ,  $q(0, \infty)$  — полярная плотность заряда.

В этой работе мы рассматриваем аэроионы только одной полярности, безразлично, которой именно, и, соответственно, полярные величины.

Очевидно,  $f(k)$  нормирована следующим образом

$$\int_0^{\infty} f(k) dk = 1.$$

Спектр снимается в следующем порядке. Варьируется какой-либо режимный параметр счетчика  $\psi$ , обычно это напряжение на конденсаторе или расход (скорость) воздуха, а в это же время измеряется сила тока  $I$  на собирающую обкладку конденсатора. Из функции  $I(\psi)$ , называемой характеристикой счетчика, по теоретическим формулам вычисляется искомый спектр. Однако эти формулы выведены в предположении, что диффузия в измерительном конденсаторе не имеет места. На самом же деле, кроме движений за счет переноса потоком воздуха и за счет электрического поля, аэрион совершает также случайное блуждание за счет беспорядочных столкновений с огромным числом молекул, т. е. аэрион подвержен также молекулярной диффузии.

Интуитивно ясно, что, используя формулы, которые не учиты-

вают диффузию, мы получим спектр, сглаженный по сравнению с истинным — все «пики» утолщены, а близлежащие «пики» могут слиться, т. е. разрешающая способность ухудшается.

Наиболее полно этот вопрос исследован в работе [Таммет, 1967]. В этой работе рассматривается случай предельно слабой диффузии, а действие ее характеризуется относительной ошибкой определения подвижности дискретной группы аэроионов, независимо от конкретного типа счетчика, исходя из дисперсий координат аэроиона при броуновском движении.

Попытаемся уточнить и конкретизировать представления и понятия, связанные с действием диффузии при измерении спектра аэроионов.

\*   \*  
\*

В вышеуказанной работе характеристика действия диффузии — относительная ошибка подвижности — получена, исходя из выражения подвижности аэроиона через координаты при движении в однородных скрещенных полях (электрическое поле с напряженностью  $E$  и поле течения воздуха со скоростью  $u$ ) (см. рисунок 1):

$$k = \frac{u}{E} \frac{y}{x} = \frac{u}{E} \operatorname{tg} \alpha. \quad (1)$$

Относительная кажущаяся дисперсия подвижности найдена в вышеприведенной работе сложением относительных дисперсий координат  $x$  и  $y$  или, можно сказать, использована линеаризация выражения (1), оставляя в ряде Тейлора только линейные члены. Линеаризация вызывает возражения в связи с тем, что координаты при броуновском движении очень хорошо описываются нормальным распределением, а, следовательно,  $k$  вообще не имеет моментов.

Покажем, как можно более строго определить смысл относительной ошибки подвижности, используя подход, близкий к работе [Таммет, 1962].

На рис. 1 изображено движение аэроиона, отправившегося из начала координат  $O$ . Через некоторое время  $t$  местонахождение аэроиона определяется двумерным нормальным распределением координат с плотностью вероятности

$$p(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp \left[ -\frac{(x-ut)^2 + (y-kt)^2}{2\sigma^2} \right], \quad (2)$$

где  $\sigma$  — стандартное отклонение координаты аэроиона. Как указано в вышеотмеченных работах,

$$\sigma = \sqrt{2Dt} = \sqrt{\frac{2KTkt}{q}}, \quad (3)$$

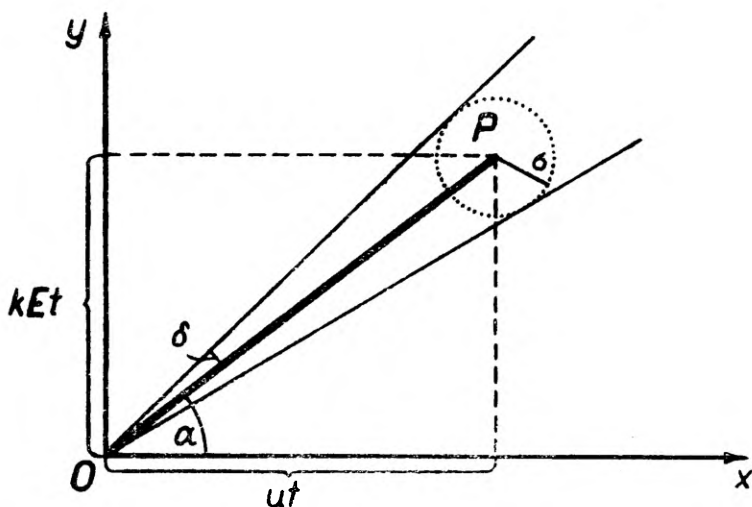


Рис. 1.

где  $D$  — коэффициент диффузии,  $K$  — постоянная Больцмана,  $T$  — абсолютная температура,  $q$  — заряд аэроиона.

Линии равной плотности вероятности являются окружностями, центром которых будет математическое ожидание положения аэроиона — это точка  $P$  с координатами  $x=ut$  и  $y=kEt$ . Поглощения стенками в данном случае не учитываем, что должно оправдываться при слабой диффузии, т. е. когда  $\sigma$  намного меньше, чем расстояние  $\overline{OP}$ .

Когда поглощение стенками не ощущается, то центр распределения  $P$  движется по прямой согласно уравнению (1). На рис. 1 проведена пунктирная окружность с центром в точке  $P$  и радиусом  $\sigma$ , а также проведены две прямые через начало координат, касающиеся этой окружности. По мере уменьшения отношения  $\sigma/\overline{OP}$ , т. е. по мере ослабления диффузии вероятность нахождения аэроиона между этими двумя прямыми приближается к  $\Phi(1) \approx 0,68$  ( $\Phi$  — интеграл ошибок). Рассматривая угол  $\delta$  на рис. 1 как эквивалентное малое приращение подвижности  $s_k$ , свяжем  $\delta$  с  $s_k$ , используя дифференцирование выражения (1), а окончательно получим известную формулу относительной ошибки подвижности

$$s_k = \frac{\sigma_k}{k} = \sqrt{\frac{2KT}{qU} \left( 1 + \frac{k^2 E^2}{u^2} \right)}, \quad (4)$$

где  $U$  — напряжение между отправной точкой движения и центром распределения в конечный момент  $t$ .



Таким образом, мы увидели, что, хотя линеаризация функции (1), строго говоря, не допускается, все же полученную формулу относительной ошибки подвижности (4) можно вполне определенно интерпретировать. Аэроионы с некоторой подвижностью  $k$  кажутся непрерывно распределенными, причем по мере ослабления диффузии вероятность, что случайные отклонения подвижности не превышают  $\sigma_k$ , определенную по формуле (4), асимптотически приближается к значению  $\Phi(1)$ .

Формулу (4) можно было бы уточнить, найдя второе приближение, оставив в ряде Тейлора также квадратические члены. Поправка приблизительно будет равна  $s_k^2$ . Однако более значительным может оказаться учет поглощения стенками. Поэтому подробных формул мы не приводим.

\*      \*

\*

Выше мы отметили, что кажущееся распределение подвижности, согласно формулам (1) и (2), моментов не имеет. Постараемся доказать это более детально на одном частном случае измерительного конденсатора. Рассмотрим плоский измерительный конденсатор с однородными скрещенными полями, согласно рис. 1. Обкладки конденсатора параллельны оси  $x$ . Аэроионы отправляются из точки  $O$  с постоянной двумерной силой тока  $I$ . Допустим, что собирающая обкладка представляет собой малый отрезок в окрестности точки  $P$ . Это соответствует т. н. дифференциальному счетчику второго порядка. Результаты, по-видимому, будут справедливы и в случае дифференциального счетчика первого порядка с раздельным потоком воздуха. Естественно определить кажущийся спектр аэроионов как спектр, полученный применением формул, действительных при отсутствии диффузии. В нашем случае дифференциального счетчика второго порядка для нахождения кажущегося спектра мы должны приравнять плотности тока через верхнюю обкладку в точке  $P$  в двух случаях: 1) когда диффузия не имеет места, а аэроионы имеют спектр  $f(k)$ , 2) когда имеется дискретная группа аэроионов и происходит диффузия.

В первом случае, для нахождения плотности тока  $j$ , учитываем, что при варьировании параметра  $E$  или  $u$  на инфинитезимальный отрезок  $(x, x+dx)$  попадают аэроионы с некоторого промежутка подвижностей  $(k, k+dk)$ , где  $k$  определяется просто по формуле (1) а  $|dk| = \frac{k}{x} dx$ , плотность тока

$$j = I k f(k) / x. \quad (5)$$

Во втором случае обозначим плотность тока  $j_d$ , а вычислять ее будем ниже.

Как мы видим, кажущийся спектр различается для различных варьируемых режимных параметров. Рассмотрим случаи варьирования напряженности поля  $E$  и скорости воздуха  $u$ . Кажущийся спектр дискретной группы при варьировании напряженности поля

$$f_E^*(k) = \frac{x j_d \left[ E = \frac{uy}{kx} \right]}{kI}, \quad (6)$$

а при варьировании скорости

$$f_u^*(k) = \frac{x j_d \left[ u = \frac{Ekx}{y} \right]}{kI} \quad (7)$$

$j_d[\psi]$  означает, что для вычисления каждого значения  $j_\psi^*(k)$  следует брать значение  $j_d$  именно при таком значении аргумента, в зависимости от заданного значения  $k$ .

В случае 2 (т. е. дискретная группа с диффузией) плотность заряда в точке  $(x, y)$

$$\varrho(x, y) = \int_0^\infty p(x, y) dt.$$

Взяв  $p(x, y)$  из формул (2) и (3),

$$\varrho(x, y) = \frac{I}{2\pi D} \exp \left[ \frac{ux + k_1 Ey}{2D} \right] K_0 \left( \frac{\sqrt{(u^2 + k_1^2 E^2)(x^2 + y^2)}}{2D} \right), \quad (8)$$

где  $k_1$  — подвижность дискретной группы,  $K_0(z)$  — функция Макдональда (модифицированная функция Бесселя второго рода). При слабой диффузии (например, при  $z > 10$ ) с ошибкой менее 1% можно использовать асимптотическую форму  $K_0(z) \approx \sqrt{\pi/2z} e^{-z}$ . Для практики ограничение  $z > 10$  приемлемо. Плотность тока вычислим по формуле  $j_d = k_1 E \varrho(x, y)$

Сделав также некоторые алгебраические преобразования, вычислим кажущиеся спектры по (6) и (7)

$$f_E^*(k) = \frac{\sqrt{quk_1} y}{4 \sqrt{\pi K T x} \sqrt{\left(1 + \frac{y^2}{x^2}\right) \left(1 + \frac{k_1^2 y^2}{k^2 x^2}\right)}} \times \\ \times \exp \left[ - \frac{\frac{y^2}{x^2} \left(1 - \frac{k_1}{k}\right) - \left( \sqrt{1 + \frac{y^2}{x^2}} - \sqrt{1 + \frac{k_1^2 y^2}{k^2 x^2}} \right)^2}{4 K T k_1 / qux} \right], \quad (9)$$

$$f_u^*(k) = \frac{\sqrt{qEk_1y}}{4} \times \frac{1}{2\sqrt{\pi KTx}} \sqrt{\left(1 + \frac{y^2}{x^2}\right) \left(1 + \frac{k_1^2 y^2}{k^2 x^2}\right)} k^{\frac{3}{2}} \times \exp \left[ -\frac{\frac{y^2}{x^2} \left(1 - \frac{k_1}{k}\right)^2 - \left(\sqrt{1 + \frac{y^2}{x^2}} - \sqrt{1 + \frac{k_1^2 y^2}{k^2 x^2}}\right)^2}{4KTk_1y/qEx^2k} \right] \quad (10)$$

Чтобы характеризовать полученные кажущиеся спектры, выясним, нормированы ли они, а также, обладают ли они моментами. Нормировка возможна, если интеграл

$$\int_0^\infty f_\psi^*(k) dk$$

сходится. Сходимость, а также существование конечных моментов можно определить по поведению функций  $f_\psi^*(k)$  при приближении к крайним точкам 0 и  $\infty$ , так как внутри этого промежутка особых точек нет. Легко перейти от функций  $f_\psi^*(k)$  к функциям  $f_\psi^*\left(\frac{1}{k}\right)$ . Для этого надо лишь первую умножить на  $k^2$ .

Оказывается, что интеграл от  $f_E^*(k)$ , следовательно, также и от  $f_E^*\left(\frac{1}{k}\right)$  сходится, а от  $f_u^*(k)$  и  $f_u^*\left(\frac{1}{k}\right)$  — нет.

Нормированность спектра  $f_E^*(k)$ , следовательно, также и  $f_E^*\left(\frac{1}{k}\right)$ , можно доказать, используя интеграл [Градштейн, Рыжик, 1962]

$$\int_0^\infty K_0[\alpha\sqrt{x^2+\beta^2}] \cos \gamma x \, dx = \frac{\pi}{2\sqrt{\alpha^2+\gamma^2}} \exp[-\beta\sqrt{\alpha^2+\gamma^2}]$$

$$[\operatorname{Re} \alpha > 0, \operatorname{Re} \beta > 0, \gamma > 0].$$

При этом сделаем подстановку  $\gamma = -i\gamma$ , а в подынтегральном выражении — подстановки  $K_0(z) = \sqrt{\pi/2z} e^{-z}$  и  $\operatorname{ch} \gamma x = \frac{1}{2} e^{\gamma x}$ , допустимые в условиях слабой диффузии.

Учет поглощения аэроионов одной (собирающей) обкладкой не вызывает больших затруднений, так как распределение времени первого достижения границы (оно же момент поглощения) при броуновском движении известно [Прохоров, Розанов, 1967]. Соответствующие формулы кажущегося спектра мало отличаются от формул (9) и (10). Однако учет поглощения лишь одной обкладкой, по-видимому, не оправдан, а при наличии поглощения на обеих обкладках анализ намного сложнее.

Поведение спектральных функций в отдаленных точках, где значения ее практически равны нулю, имеет значение только при строгом теоретическом анализе. Во многих случаях могут быть полезны приближенные выражения этих функций для центральной части спектра, где сосредоточена основная масса вероятности.

Так как на практике длина измерительного конденсатора обычно превышает расстояние между обкладками, то интерес представляет случай длинного измерительного конденсатора для значений  $k$ , немного отличающихся от  $k_1$ . Из формул (9) и (10) вытекают следующие функции

$$f_E^*(k) = \frac{\sqrt{qEk}y}{2\sqrt{\pi KTx \left(1 + \frac{y^2}{x^2}\right) k^2}} \times \exp \left[ \frac{quy^2 (k-k_1)^2}{4KTx \left(1 + \frac{y^2}{x^2}\right) k_1 k^2} \right], \quad (11)$$

$$f_n^*(k) = \frac{\sqrt{qEk_1}}{2\sqrt{\pi KT \left(1 + \frac{y^2}{x^2}\right) k^{\frac{3}{2}}}} \exp \left[ \frac{quE(k-k_1)^2}{4KT \left(1 + \frac{y^2}{x^2}\right) k_1 k} \right] \quad (12)$$

Отметим, что формула (11) представляет собой нормальное распределение величины  $\frac{1}{k}$

Эти формулы дают хорошую аппроксимацию при  $y < x$  даже для не очень слабой диффузии. Чтобы иллюстрировать точность приближения, сравним функцию  $f_E^*(k)$  по формулам (9) и (11), если  $\frac{\sigma_h}{k_1} = 0,1$ . Оказывается, что при  $\frac{y}{x} = 0,1$  разница в значениях этих функций в точках, где  $\frac{k-k_1}{k_1} = \pm 0,2$  (что охватывает 95% всей вероятности) не превышает 0,2%, а ближе к центру точность возрастает. Даже в случае относительного короткого конденсатора, если  $\frac{y}{x} = 1$ , точность формулы (11) неплохая, что иллюстрируется таблицей, вычисленной также при  $\frac{\sigma_h}{k_1} = 0,1$ .

Таблица

$f_E^*(k)$ \ $\frac{k-k_1}{k_1}$	-0,2	-0,1	0	0,1	0,2
По формуле (11)	0,83	2,99	4,00	2,00	0,37
По формуле (9)	1,11	3,18	4,00	1,97	0,34

При увеличении длины конденсатора точность аппроксимации быстро возрастает.

Для того, чтобы было возможно использовать просто нормальное распределение для приближения  $\hat{f}_\psi^*(k)$ , нужно, чтобы диффузия была намного слабее, чем в рассмотренном примере (при той же точности, по-видимому  $\frac{\sigma_k}{k_1} < 0,01$ )

\*   \*  
\*

Кажущийся спектр дискретной группы аэроионов можно применять и в случае непрерывного спектра. Допустим, что мы имеем истинный непрерывный спектр  $f(k)$ . а при измерениях, используя теорию, не учитывающую диффузию, мы получили искаженный (сглаженный) спектр  $\tilde{f}(k)$ . Этот искаженный спектр можно выразить в виде интегрального преобразования

$$\tilde{f}(k) = \int_0^{\infty} f_\psi^*(k; k_1) f(k_1) dk_1, \quad (13)$$

где  $f_\psi^*(k; k_1)$  — кажущийся спектр дискретной группы аэроионов с подвижностью  $k_1$ .

Поставим целью найти истинный спектр  $f(k)$ , другими словами, решить интегральное уравнение (13). Используем упрощенные выражения для кажущегося спектра дискретной группы (11) и (12), переделав их в более наглядную форму

$$f_E^*(k; k_1) = \sqrt{\frac{a}{\pi}} \frac{\sqrt{k_1}}{k^2} e^{-a \left( \frac{\sqrt{k_1}}{k^2} - \frac{1}{\sqrt{k_1}} \right)^2} \quad (14)$$

$$f_u^*(k; k_1) = \sqrt{\frac{b}{\pi}} \frac{\sqrt{k_1}}{k^{\frac{3}{2}}} e^{-b \left( \sqrt{\frac{k}{k_1}} - \sqrt{\frac{k_1}{k}} \right)^2}, \quad (15)$$

где

$$a = \frac{quy^2}{4KTx \left( 1 + \frac{y^2}{x^2} \right)},$$

$$b = \frac{qEy}{4KT \left( 1 + \frac{y^2}{x^2} \right)}$$

Постоянная  $a$  имеет размерность подвижности, а  $b$  — безразмерна.

Рассмотрим сперва случай варьирования напряжения. После раскрытия скобок в экспоненте и сгруппирования членов, согласно формулам (14) и (13), имеем

$$\sqrt{\frac{\pi}{a}} k^2 e^{-\frac{2a}{k}} \tilde{f}(k) = \int_0^{\infty} e^{-a \frac{k_1}{b^2}} e^{-\frac{a}{k_1}} \sqrt{k_1} f(k_1) dk_1.$$

Введем новые переменные  $w$  и  $z$ ,

$$\frac{a}{k_1} := e^w, \quad \frac{a^2}{k^2} := e^z$$

После сгруппирования членов имеем

$$\sqrt{\pi} e^{-z - \frac{z}{2e^z}} \tilde{f}(ae^{-\frac{z}{2}}) = \int_{-\infty}^{\infty} e^{-e^{z-w}} e^{-\frac{3}{2}w - e^w} f(ae^{-w}) dw.$$

В этом выражении можно выделить три функции соответственно только от  $z$ ,  $z-w$  и  $w$ , причем

$$\tilde{g}(z) = \int_{-\infty}^{\infty} g^*(z-w) g(w) dw. \quad (16)$$

Это представляет собой свертку функций  $g^*$  и  $g$ . Интегральное уравнение типа свертки можно решить известными методами, например, применяя преобразование Фурье. Затем следует от полученной функции  $g(w)$  перейти к  $f(k)$ .

В случае варьирования скорости воздуха исходим из формулы (15), раскрываем скобки в экспоненте и делаем подстановки  $k_1 := e^w$ ,  $k := e^z$ . Окончательно имеем

$$\sqrt{\frac{\pi}{b}} e^{-2b + \frac{3}{2}z} \tilde{f}(e^z) = \int_{-\infty}^{\infty} e^{-2b \operatorname{ch}(z-w)} e^{\frac{w}{2}} f(e^w) dw,$$

что также подходит под схему (16)

Таким образом можно найти точный спектр и в случае диффузии.

## ЛИТЕРАТУРА

- Градштейн Н. С., Рыжик И. М., 1962. Таблицы интегралов, сумм, рядов и произведений. «ФМ», М.  
 Прохоров В. В., Розанов Ю. А., 1967. Теория вероятностей. «Наука», М.

Таммет Х. Ф., 1962. Искажающие эффекты в аспирационных счетчиках аэроионов. Изв. АН СССР, сер. геофиз. (№ 6), стр. 845—853.

Таммет Х. Ф., 1967. Аспирационный метод измерения спектра аэроионов. Уч. зап. Тартуского гос. ун-та, вып. 195.

Поступила 4/IV 1968 г.

## **AEROIOONIDE NÄIV SPEKTER SOOJUSLIKU DIFUSIOONI ARVESTAMISEL**

**J. Salm**

**Resümee**

Viidatud kirjanduses (Таммет, 1967) ilmunud valem nõrga soojusliku difusiooni tõttu tekkiva liikuvuse suhtelise vea kohta on tuletatud toetudes momentide mõistele, mis matemaatiliselt rangel käsitusel pole võimalik. Käesolevas töös on näidatud, kuidas on siiski võimalik ülalnimetatud valemit kindlal viisil tõenäosuslikult interpreteerida. Edasi on teist järku ja (õhuvoolu järgi) esimest järku diferentsloendurite erijuhtudel uuritud, millised näivad spektrid saadakse nõrga difusiooni puhul, kui kasutada spektri arvutamiseks seoseid, mis kehtivad difusiooni puudumise eeldusel. Lõpuks on visandatud üks meetod tõelise spektri leidmiseks, lähtudes difusiooni poolt silutud mõõdetud spektrist.

## **THE APPARENT SPECTRUM OF AIR IONS DUE TO HEAT DIFFUSION**

**J. Salm**

**Summary**

The formula (obtained from the literature referred to [Таммет, 1967]) of calculating the relative error of mobility arising from weak heat diffusion, has been originally derived from the concept of moments, which in a strictly mathematical treatment would be impossible. It is shown in the present paper how it is still possible to interpret it in a certain way from the standpoint of probability.

Further, the author has studied in special cases of the second-grade and (judging by the air-flow) first-grade differential counter, what kind of apparent spectra are obtained in weak diffusion if for the calculation of the spectrum relationships are used which are applicable in the absence of diffusion.

Last, a method has been outlined for the calculation of a real spectrum proceeding from the measured spectrum smoothed by diffusion.

## О ДЕЙСТВИИ ТУРБУЛЕНТНОСТИ В АСПИРАЦИОННОМ СЧЕТЧИКЕ АЭРОИОНОВ

Я. И. Сальм

В самых общих чертах турбулентная диффузия аналогична молекулярной диффузии. Отклонение частиц примеси (аэроионов) от регулярных траекторий обусловлено беспорядочными движениями малых элементов среды. Однако, в отличие от молекулярной диффузии, нельзя пренебречь корреляцией отдельных пульсационных смещений, и диффузия не связана с подвижностью аэроиона.

В работе [Таммет, 1967] получена формула для оценки эквивалентной относительной ошибки подвижности в случае слабой однородной и изотропной турбулентности. Постараемся здесь уточнить картину этого явления, особенно насчет корреляционных функций, а также отказаться от требования изотропности.

Так же как и в работе [Сальм, 1969], рассмотрим двумерное движение аэроиона в скрещенных стационарных и однородных полях (поле течения воздуха со средней скоростью  $u$  в направлении  $x$  и электрическое поле с напряженностью  $E$  в направлении  $y$ ). Это соответствует плоскому измерительному конденсатору, а также коаксиальному измерительному конденсатору с малым расстоянием между обкладками. В конце данной работы коснемся и некоторых вопросов при неоднородном поле течения воздуха.

В среднем аэроион с подвижностью  $k$  движется согласно уравнениям  $x=ut$ ;  $y=kEt$ , где  $t$  — время. Однако, на среднюю скорость воздуха налагаются турбулентные пульсации скорости  $u'$  и  $v'$  (соответственно в направлении  $x$  и  $y$ ). Все пульсационные величины обозначим штрихом, а их среднее значение (математическое ожидание), по определению, равно нулю. Таким образом, положение аэроиона за время  $t$  является также случайным, причем на среднее смещение накладываются пульсационные составляющие  $x'$  и  $y'$ .

Сведем случайность к подвижности, используя соотношение  $k=uy/Ex$ . Ограничиваясь случаем слабой диффузии, применим



линеаризацию последнего выражения. Квадрат относительной ошибки подвижности, т. е. дисперсия, разделенная на квадрат подвижности,

$$\frac{D[k]}{k^2} = s_k^2 = \frac{\overline{x'^2}}{x^2} + \frac{\overline{y'^2}}{y^2} - 2 \frac{\overline{x'y'}}{xy} \quad (1)$$

Координата  $x$  здесь равна длине измерительного конденсатора, а  $y$  — расстоянию между обкладками.

Черточки над символами обозначают теоретико-вероятностное осреднение. Дисперсии координат  $\overline{x'^2}$  и  $\overline{y'^2}$ , а также ковариация  $\overline{x'y'}$  в точке  $(x, y)$  сами собой не известны. Проще поддаются измерению статистические характеристики скорости, точнее — скорости в фиксированных точках (эйлеровы скорости). Статистические моменты смещения аэроиона мы можем выразить через характеристики пульсационных скоростей фиксированных частиц  $U'$  и  $V'$  (это — лагранжевы скорости):

$$\overline{x'^2} = \left[ \int_0^t U'(t_1) dt_1 \right]^2 = \int_0^t \int_0^t U'(t_1) U'(t_2) dt_1 dt_2.$$

Введем новые переменные  $\frac{1}{2}(t_1 + t_2) = \tau$ ;  $t_2 - t_1 = s$ . Тогда

$$\overline{x'^2} = 2 \int_0^t \int_{\frac{s}{2}}^{t-\frac{s}{2}} B_{uu}^{(L)}(\tau, s) d\tau ds, \quad (2)$$

где  $B_{uu}^{(L)}(\tau, s) = \overline{U'(t_1) U'(t_2)}$  — лагранжева корреляционная функция скоростей фиксированной частицы.

Из-за однородности  $B_{uu}^{(L)}(\tau, s)$  от  $\tau$  не зависит, а последнее выражение можно интегрировать по  $\tau$

$$\overline{x'^2} = 2 \int_0^t (t-s) B_{uu}^{(L)}(s) ds.$$

Учитывая, что при однородной турбулентности  $\overline{U'^2} = \overline{u'^2}$  и  $\overline{V'^2} = \overline{v'^2}$ , введем нормированную корреляционную функцию  $R$  (вместе с соответствующими индексами), а

$$\overline{x'^2} = 2 \overline{u'^2} \int_0^t (t-s) R_{uu}^{(L)}(s) ds. \quad (3)$$

$$\overline{y'^2} = 2\overline{v'^2} \int_0^t (t-s) R_{vv}^{(L)}(s) ds, \quad (4)$$

$$\overline{x'y'} = 2\sqrt{\overline{u'^2}} \sqrt{\overline{v'^2}} \int_0^t (t-s) R_{uv}^{(L)}(s) ds. \quad (5)$$

Вывод последних формул, а также некоторые другие общие вопросы теории турбулентной диффузии более полно изложены, например, в монографии [Монин, Яглом, 1965].

Теперь надо было бы лагранжевы корреляционные функции выразить через эйлеровы, так как именно последние сравнительно легко определить экспериментально. Однако в настоящее время такая связь неизвестна. Теоретические исследования указывают скорее на невозможность существования универсальной связи между ними. Из экспериментальных работ наиболее подходящим к данному вопросу является исследование [Baldwin, Mickelsen, 1962] в центральной части вполне развитого турбулентного течения в канале, в нешироком интервале чисел Рейнольдса.

Хотя в этой работе точного подобия обоих типов корреляционных функций не найдено, все же оказалось, что, получив лагранжеву корреляционную функцию из Эйлеровой путем замены в последней пространственного интервала  $\xi$  временным интервалом  $s = \frac{\xi}{B\sqrt{u'^2}}$ , значение  $B=0,7$  дает обнадеживающее согласие с опытом. В опытах значения  $B$  были разбросаны в интервале от 0,56 до 0,87. К сожалению, результаты ограничены небольшими временами диффузии — приблизительно до половины интегрального корреляционного масштаба.

Надо обратить внимание на то, что в нашей задаче мы не имеем дела с обычной лагранжевой функцией корреляции, так как аэроион, кроме переноса потоком воздуха, движется также в поперечном направлении под действием электрического поля. По мере ослабления электрического поля движение аэроиона уподобляется обычному движению частицы пассивной примеси. По мере же увеличения напряженности поля он в конце концов движется как бы через неподвижную среду, а определяющей станет эйлерова пространственная корреляционная функция.

Однородность и стационарность дают достаточное основание утверждать, что корреляционная функция связи  $R_{uv}^{(L)}(s) = 0$ . Ниже мы еще вернемся к вопросу об этой функции, а пока предположим, что она равна нулю.

Рассмотрим теперь два предельных случая, во-первых, боль-

шое время корреляции. Тогда  $R_{uu}^{(L)}(s) \approx 1$  и  $R_{vv}^{(L)}(s) \approx 1$  в течение интервала времени, интересующего нас. Образно говоря, это означает, что самые большие вихри имеют масштаб, не меньше размеров измерительного конденсатора. Это может иметь место при вносящейся извне турбулентности в коротком измерительном конденсаторе. С другой стороны, предположение  $R_{uu}^{(L)}(s) = 1$  и  $R_{vv}^{(L)}(s) = 1$  дает нам верхний предел для относительной ошибки подвижности  $s_k$ .

По формуле (1) можем записать

$$s_k^2 \leq s_{k(1)}^2 = \frac{\overline{u'^2}}{u^2} + \frac{\overline{v'^2}}{k^2 E^2}$$

Обозначим коэффициент анизотропии  $\alpha = \overline{v'^2}/\overline{u'^2}$  и интенсивность турбулентности  $\varepsilon = \sqrt{\overline{u'^2}}/u$ .

Тогда предыдущая формула перепишется

$$s_{k(1)}^2 = \varepsilon^2 \left( 1 + \alpha \frac{u^2}{k^2 E^2} \right) = \varepsilon^2 \left( 1 + \alpha \frac{x^2}{y^2} \right) \quad (6)$$

В случае короткого измерительного конденсатора определяющей является турбулентность, вносящаяся извне, а при этом  $\overline{u'^2}$ , по-видимому, существенно не зависит от  $u$ . Это подтверждается также предварительными опытами, предпринятыми автором.

Сужение потока воздуха при входе в коаксиальный измерительный конденсатор, а также проволоочные сетки и конфузор (если они применяются для подавления турбулентности) приводят к тому, что  $\alpha$  значительно больше единицы.

В случае длинного измерительного конденсатора формула (6) дает слишком преувеличенные значения, и нужно учитывать корреляционный масштаб. Если корреляция пульсационных смещений аэроиона в начале и в конце траектории достаточно мала, то формулы (3) и (4) можно переписать в виде

$$\overline{x'^2} = 2\overline{u'^2} (T_u^{(L)} t - S_u^{(L)}),$$

$$\overline{y'^2} = 2\overline{v'^2} (T_v^{(L)} t - S_v^{(L)}),$$

где

$$T^{(L)} = \int_0^\infty R^{(L)}(s) ds; \quad S^{(L)} = \int_0^\infty s R^{(L)}(s) ds$$

при обоих индексах.

Относительно величин  $S^{(L)}$  нельзя сказать ничего определенного, не зная формы корреляционной кривой. Опуская  $S^{(L)}$ , получим опять некоторый верхний предел для  $s_{k(2)}^2$ .

Введем еще другой (масштабный) коэффициент анизотропии  $\beta = T_v^{(L)}/T_u^{(L)}$ . Квадрат относительной ошибки подвижности для больших времен

$$s_k^2 < s_{k(2)}^2 = 2\epsilon^2 \left( 1 + \alpha\beta \frac{x^2}{y^2} \right) \frac{T_u^{(L)}}{t}. \quad (7)$$

Из формул (6) и (7) следует выбрать ту, которая дает меньшее значение  $s_k^2$ . Относительно лагранжева масштаба  $T_u^{(L)}$  немного говорилось выше, однако способы определения его необходимо уточнить экспериментально.

Согласно формуле (7), если  $t \gg T_u^{(L)}$  получим такую же зависимость от времени, как и при молекулярной диффузии. Некоторыми работами подтверждается, что распределение вероятности смещений также выражается нормальным законом.

В длинном измерительном конденсаторе, почти независимо от начальных условий, по мере удаления от входа устанавливается вполне развитый турбулентный поток, или же турбулентность затухает (если число Рейнольдса ниже нижнего критического значения). По данным [Laufer, 1951] среднеквадратичные пульсационные скорости развитого турбулентного потока в плоском канале составляют от 2% до 12% от максимальной скорости, а по местной скорости интенсивность турбулентности находится в пределах от 2% до 44%.

Наибольшие значения достигаются в тонком пристеночном слое. Исключая из рассмотрения, например, пристеночный слой толщиной в 5% от полуширины канала, получим вместо последних цифр 2% и 17%. С увеличением числа Рейнольдса интенсивность турбулентности падает приблизительно по степенному закону с показателем — 0,5, а эйлеров масштаб длины существенно меняется. Таким образом, в длинном канале поле течения воздуха становится неоднородным.

\* \* \*

Теперь частично откажемся от требования однородности. Допустим, что поле течения неоднородно в направлении  $y$ , причем, вследствие симметрии граничных условий, все поля гидродинамических величин по отношению к середине канала также симметричны — или четны или нечетны. Траектории аэроионов не являются прямыми. Однако имея в виду слабость диффузии (т. е., что пульсационные смещения намного меньше осредненных смещений), можно утверждать, что лагранжевы характеристики тоже симметричны по отношению к моменту времени  $t/2$ .

Известно, что величина  $B_{uv}^{(L)}(\tau, 0) = \overline{U'(\tau) V'(\tau)} = \overline{u'(\tau) v'(\tau)}$  (напряжение Рейнольдса), которую можно интерпретировать как плотность потока импульса в поперечном направлении, по мере приближения к стенкам, в развитом турбулентном потоке принимает довольно большое значение, достигающее до  $0,5 V \overline{u'^2} V \overline{v'^2}$  [Laufer, 1951]. Однако при этом эта функция нечетна по отношению к моменту  $t/2$ . Это дает большую уверенность утверждать, что  $B_{uv}^{(L)}(\tau, s)$  в целом в данном случае также нечетна. Следовательно,  $x'y'$  в таких условиях равна нулю.

В случае коаксиального конденсатора со значительно отличающимися радиусами это не верно. Корреляционный момент связи нужно учесть и в случае короткого коаксиального измерительного конденсатора, если имеется длинная входная труба.

Что касается дисперсий скорости, то в неоднородном случае нужно прибегать к осреднению согласно работе [Таммет, 1967].

## ЛИТЕРАТУРА

Монин А. С., Яглом А. М., 1965. Статистическая гидромеханика, ч. I. «Наука», М.

Сальм Я. И., 1969. Кажущийся спектр аэроионов при учете тепловой диффузии. В настоящем выпуске.

Таммет Х. Ф., 1967. Аспирационный метод измерения спектра аэроионов. Уч. зап. Тартуского гос. ун-та, вып. 195.

Baldwin L. W., Mickelsen W. R., 1962. Turbulent diffusion and anemometer measurements. J. Eng. Mech., 88, No. 1, 37—69.

Laufer, J., 1951. Investigation of turbulent flow in a two-dimensional channel. NACA Rep. No. 1033.

Поступила 25/IV 1968 г.

## TURBULENTSI TOIMEST AEROIOONIDE ASPIRATSIOONLOENDURIS

J. Salm

Resümee

Varem tuntud teooriat nõrga turbulentsi toime kohta aspiratsioonloenduris on mõningal määral üldistatud, loobudes isotroopse nõudest. On täpsustatud korrelatsioonifunktsioonide ja -mas-  
taapide tähendust. Lagrange'i suuruste avaldamiseks Euleri suuruste kaudu, mis on vajalik teooria lõplikuks väljaarendamiseks, senistest teoreetilistest ja eksperimentaalsetest tulemustest ei piisa.

# ON THE EFFECT OF THE TURBULENCE IN THE ASPIRATION COUNTER OF AIR IONS

J. Salm

## Summary

The author has further generalized the earlier theory of the effect of weak turbulence in an aspiration counter by abandoning the requirement of isotropy. The significance of the correlation functions and scales has been further specified.

It is pointed out that the theoretical and experimental results achieved so far are insufficient for a final elaboration of the theory of expressing Lagrangian quantities through Eulerian quantities.

## РАЗРЕШАЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО СЧЕТЧИКА АЭРОИОНОВ ПЕРВОГО ПОРЯДКА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ОТНОШЕНИЯ ДЕЙСТВУЮЩИХ ЕМКОСТЕЙ

Я. И. Сальм

Для количественного определения действия диффузии (в частности турбулентной) в счетчике аэроионов нашел применение дифференциальный счетчик первого порядка с разделенным конденсатором [Таммет, 1967]. При этих измерениях было допущено, что функция распределения подвижностей аэроионов является нормальной, а дисперсия этого распределения в каждом отдельном случае определялась по измерению силы тока (1) через собирающую обкладку лишь при двух значениях напряжения  $U_1=0,8U^*$  и  $U_2=1,3U^*$  (силу тока обозначим соответственно  $I_1$  и  $I_2$ ); причем  $U^*$  было выбрано таким образом, что

$$I(U^*)=I(U^*/2) \quad (1)$$

Теоретически был вычислен график зависимости отношения  $Z=I_2/I_1$  от стандартного отклонения распределения подвижностей  $\sigma_{k_1}$  разделенного на среднюю подвижность  $\bar{k}$ , т. е. — от  $s_k=\sigma_{k_1}/\bar{k}$ . В каждом отдельном опыте определялось отношение  $Z$ , а затем по упомянутому графику — величина  $s_k$ .

Насчет всех подробностей ссылаемся на вышеприведенную работу.

При описанном методе остается произвольным выбор одного параметра — отношения действующих емкостей измерительного конденсатора  $\alpha=C_2/C_1$  (где  $C_2$  — действующая емкость собирающей обкладки,  $C_1$  — предварительной обкладки)

В целях обоснования выбора отношения  $\alpha$  было предпринято теоретическое нахождение зависимости ошибки определения  $s_k$  от  $\alpha$ , исходя из ошибок измерения силы тока.

Зависимость ошибки измерения от силы тока, разумеется, непростая, в данном же случае мы ограничимся линейным приближением, т. е. абсолютную ошибку силы тока выразим в виде

$\Delta I + I\delta_I$ , где  $\Delta I$  и  $\delta_I$  — соответственно постоянные абсолютная и относительная ошибки измерения силы тока.

Будем рассматривать аэроионы только одного знака с полярной плотностью заряда  $q_0$ , стандартным отклонением подвижностей  $\sigma_k$  и средней подвижностью  $\bar{k}$ .

Кроме величин  $s_k$  и  $\alpha$ , определенных выше, будем пользоваться и безразмерными величинами:  $i = I/q_0\Phi$  (где  $\Phi$  — объемная скорость воздуха, протягиваемого сквозь измерительный конденсатор) и  $k'_0 = \bar{k}_0/k$  (где  $\bar{k}_0$  — предельная подвижность конденсатора в целом).  $i$  зависит от остальных безразмерных величин

$$i = i(k, s_k, \alpha)$$

Реди вычислил на ЭЦВМ «Урал-4» функции  $i = i(k_0)$ , итого 3780 значений при 10 значениях  $s_k$  от 0,1 до 0,4 и 14 значениях  $\alpha$  от 0,01 до 1,0 [Redi, 1967]. Затем графически была определена функция  $Z = Z(s_k, \alpha)$  по формуле (1) и вновь была определена  $s_k = s_k(Z, \alpha)$ .

Некоторые из этих функций представлены на рис. 1. Отметим, что в работе [Таммет, 1967]  $U^*$  было определено при одном выбранном значении  $s_k$ , а здесь мы определяем  $U^*$  для каждого значения  $s_k$  и  $\alpha$ . На качественных результатах это не сказывает-

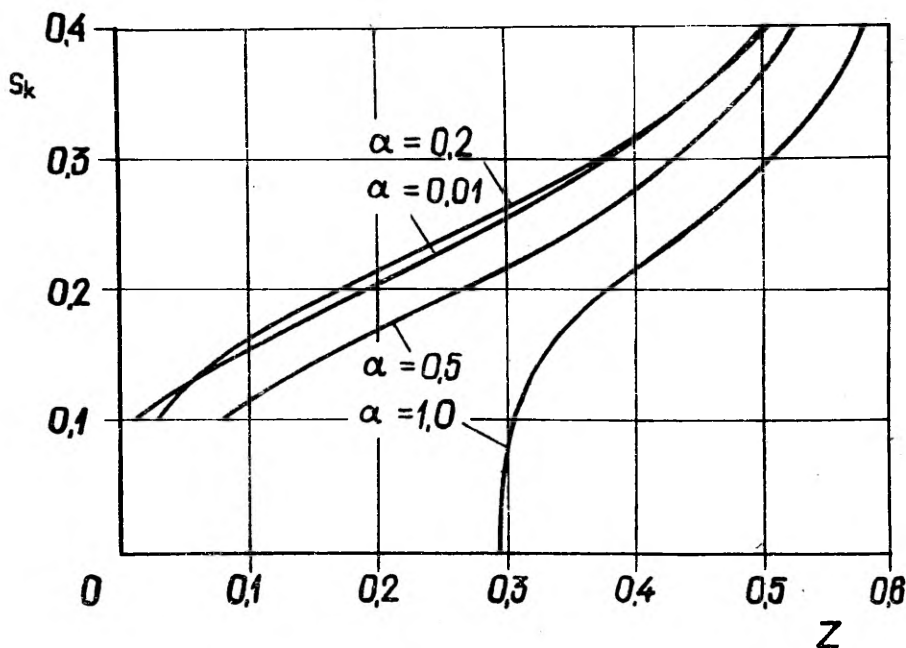


Рис. 1. Примеры функций  $s_k(Z, \alpha)$ .



ся, получаются лишь незначительные количественные различия в функциях.

Относительная ошибка

$$\delta_{s_k} = \frac{\partial s_k}{\partial Z} \frac{\Delta Z}{s_k},$$

а

$$\Delta Z = \frac{1+Z}{i_1} \Delta i + 2Z \delta_I.$$

Следовательно,

$$\delta_{s_k} = \frac{\partial s_k}{\partial Z} \frac{1+Z}{s_k i_1} \Delta i + 2 \frac{\partial s_k}{\partial Z} \frac{Z}{s_k} \delta_I. \quad (2)$$

Графически был вычислен множитель  $\frac{\partial s_k}{\partial Z} \frac{1+Z}{s_k i_1}$  в первом слагаемом правой части при нескольких значениях  $s_k$  и  $\alpha$ .

Результаты приведены на рис. 2. Отчетливо видно, что при малых значениях  $\alpha$  ошибка быстро уменьшается с увеличением  $\alpha$ .

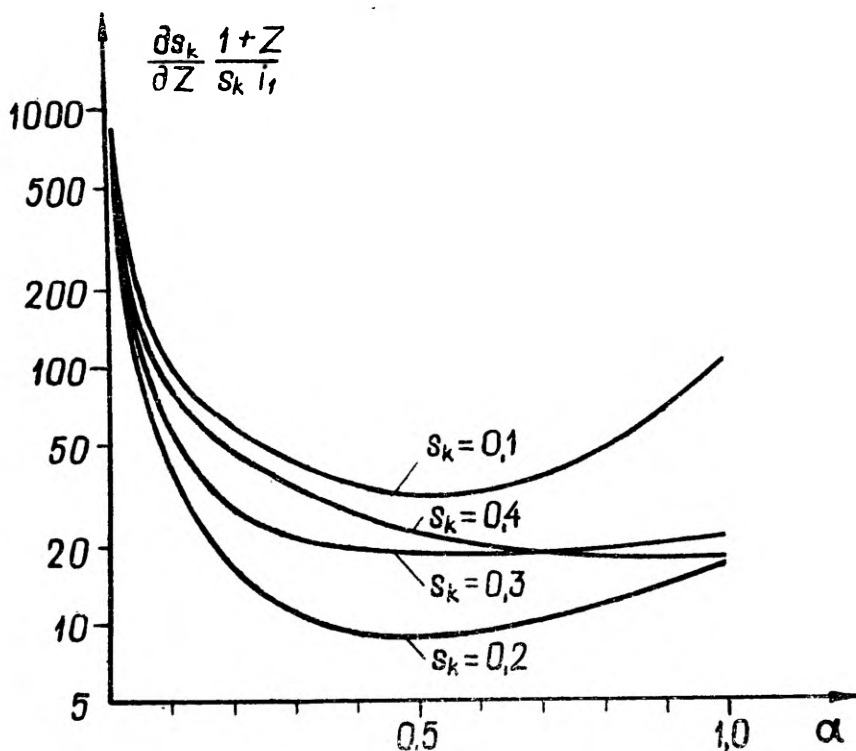


Рис. 2.

Такие же расчеты были проделаны и при нескольких видоизменениях определения (1), однако сказанное оставалось в силе.

Оказалось, что множитель  $\frac{\partial s_k}{\partial Z} \frac{Z}{s_k}$  во втором слагаемом формулы (2) существенно не зависит от  $\alpha$ . Следовательно, с ростом второго слагаемого по отношению к первому, интервал сильной зависимости  $\delta_{s_s}$  от  $\alpha$  суживается к все более малым значениям  $\alpha$ .

## ЛИТЕРАТУРА

Таммет Х. Ф., 1967. Аспирационный метод измерения спектра аэроионов. Уч. зап. Тартуского гос. ун-та, вып. 195.

Redi, V., 1967. Ühe aeroioonide loendaja mõõtekondensaatori optimaalse konstruktsiooni arvutus. Конкурсная работа (эстонск.), хранится в Тартуском гос. ун-те, г. Тарту.

Поступила 16/V 1968 г.

## ESIMEST JÄRKU AEROIOONIDE DIFERENTSLOENDURI LAHUTUSVÕIME SÕLTUVALT TEGEVMAHTUVUSTE SUHTEST

J. Salm

Resümee

Ühe varem kasutatud turbulentsi toime eksperimentaalse määramise meetodi (Tammet, 1967) puhul uuriti lõpptulemuse vea sõltuvust koguva katte ja eelkatte tegevmahtuvuste suhtest. Selgus, et selle vea vähendamiseks on vaja koguva katte suhtelist mahtuvust võimalikult suurendada.

## DEPENDENCE OF THE RESOLVING POWER OF THE FIRST-GRADE DIFFERENTIAL COUNTER OF AIR IONS ON THE RATIO OF ITS ACTIVE CAPACITANCES

J. Salm

Summary

In connection with an earlier investigation on the method of experimental determination of the effect of turbulence [Tammet, 1967], the subject of the present study was the dependence of the error of the final result on the ratio of the active capacitance of the collecting electrode and that of the pre-electrode. It appeared from the study that the reduction of this error would necessitate the raising of the relative capacitance of the collective electrode as much as possible.

## РЕГИСТРАТОР АВТОМАТИЧЕСКОГО СЧЕТЧИКА АЭРОИОНОВ

В. Я. Ирд, М. Э. Лепик

В настоящее время все шире ставится вопрос об изучении атмосферного электричества. Одним из методов изучения является определение распределения концентрации аэроионов по подвижностям — спектра аэроионов, содержащего важную информацию об электрическом состоянии воздуха, а также о его загрязненности.

Как выяснено многими исследователями [1, 2, 3, 4], концентрация аэроионов в воздухе имеет корреляцию с разными атмосферными явлениями и метеорологическими факторами. Для изучения этих зависимостей надо длительное время производить большое число единичных измерений нескольких параметров воздуха одновременно.

По сравнению с автоматическими метеостанциями менее известны автоматические счетчики аэроионов. Совсем нет данных о комбинированных приборах для одновременной регистрации метеорологических и ионизационных параметров воздуха.

Рассмотрим кратко некоторые автоматические счетчики аэроионов.

В работе [5] описан аспирационный интегральный счетчик аэроионов, в котором спектр подвижностей аэроионов измеряют по заранее заданной программе. В качестве измерителя тока ионов применен механический спектрометр, а его показания регистрируют на фотобумаге на вращающемся барабане.

В [6] описан измеритель проводимости воздуха с применением аспирационного интегрального счетчика легких аэроионов. Измерителем тока служит электрометрический усилитель с динамическим конденсатором; его показания регистрируют на обыкновенной бумажной ленте в виде игольных дырок.

В работе [7] приводится описание станции атмосферного электричества. Шестиканальным точечным самописцем регистрируются обе полярные проводимости воздуха, напряженность электрического поля и плотность вертикального тока.

Аналогичная установка приведена в работе [8].

Описанные приборы могут длительное время работать без вмешательства человека. Однако подготовка полученных данных для выполнения нужных вычислений на ЭЦВМ, например при изучении корреляционных связей между ионизацией и метеорологическими характеристиками атмосферы, очень трудоемка.

С целью уменьшения затраты времени на получение и обработку данных о спектре аэроионов и метеорологических факторах в проблемной лаборатории аэроионизации и электроаэрозолей ТГУ разрабатывается соответствующая автоматическая станция. Для измерения спектра аэроионов выбран метод варьирования предельной подвижности [9] аспирационного измерительного конденсатора по заданной программе (определенная временная последовательность отдельных измерений концентрации аэроионов при различных заданных предельных подвижностях измерительного конденсатора)

Измерителем концентрации аэроионов служит интегральный счетчик аэроионов с заземленной внешней обкладкой, действующий по методу разрядки с высокочувствительным динамическим электрометром, который работает в режиме «пролетающего нуля». Выходным сигналом счетчика является промежуток времени, в течение которого заряд измерительного конденсатора уменьшается на заданное значение.

Источниками информации о метеорологических факторах воздуха служат датчики, выходной сигнал которых поступает в регистрирующий блок автоматической станции в виде пятиэлементного двоичного кода. В приборе предусмотрена возможность присоединения 10 датчиков такого типа, например датчиков направления ветра, силы ветра, температуры, давления, космического излучения и т. п.

Носителем собранной информации выбрана стандартная телеграфная перфслента как самая распространенная в практике связи между ЭЦВМ и пунктом сбора информации. Применение телеграфного аппарата позволяет передать измерительные данные по телеграфной линии или по радио на центральный пункт сбора информации или же прямо на ЭЦВМ. Признаком распознавания отдельных параметров воздуха служит их определенная последовательность на перфоленке после так называемого «знака начала цикла».

Промежуток времени на выходе счетчика аэроионов измеряется по методу счета импульсов определенной частоты [10]; выходным сигналом при этом получается двоичный код числа импульсов, которое прямо пропорционально длине промежутка времени.

Выработанные таким образом двоичные коды всех интересующих параметров воздуха при помощи матричного переключателя и сдвигового регистра преобразуются в форму, пригодную



$$\delta = \delta_k + \delta_i.$$

Допустимая частота импульсов может быть определена как

$$f \geq \frac{1}{\delta_k \cdot t_{\min}},$$

где  $\delta_k$  — допустимая погрешность от квантования,  
 $t_{\min}$  — минимальное измеряемое время.

Емкость счетчика импульсов определяется по выражению

$$N = t_{\max} f,$$

где  $t_{\max}$  — максимальная длительность измеряемого времени.

Число двоичных порядков  $n$ , требуемое для записи числа  $N$  в двоичном коде, вычисляется из выражения

$$2^n \geq N.$$

Столько же триггеров должен содержать счетчик времени.

Конструкцией счетчика аэроионов определено  $t_{\min} = 5$  сек.,  $t_{\max} = 300$  сек. Принимая  $\delta = 1\%$  и  $\delta_i = 0,6\%$ , получаем  $\delta_k = 0,4\%$ ,  $f = 50$  гц,  $N = 15000$  и  $n = 14$ .

Итак, информация об ионизации воздуха выражена 14-разрядным двоичным числом. Вывести эту информацию на перфоленту следует четырьмя отдельными группами, по четыре разряда в каждой. Пятиразрядные группы использовать нельзя, что объясняется следующим. «Знак начала цикла», очевидно, должен быть пятизначным, для того, чтобы он был узнаваемым. Однако пятиразрядная группа кодовых элементов в счетчике времени может принимать все 32 возможные комбинации, в том числе и комбинацию, соответствующую «знаку начала цикла». Для устранения возникающей неопределенности приходится всю полезную информацию перфорировать четырехразрядными двоичными числами, а пятый элемент в телеграфном коде использовать в качестве признака (например, дырка в ленте на пятой дорожке указывает на полезную информацию, а отсутствие дырки — на «знак начала цикла»).

Ясно, что такое требование приводит к нерациональному использованию перфоленты и оперативной памяти вычислительной машины. Выходом из положения было бы использование перфоратора с более широкой лентой (лучше всего с 15 дорожками), но тогда отпадала бы возможность простой дистанционной передачи результатов измерения.

Нужный порядок перфорирования собранной информации обеспечивается соответствующими коммутаторами  $K_1$  и  $K_2$ . Каждый коммутатор состоит из циклического счетчика импульсов и диодной матрицы. Запуск коммутатора осуществляется анало-

тично запуску в счетчике времени, а остановка — сигналом обратной связи от циклического счетчика.

Появляющийся на каком-либо из выходов коммутаторов  $K_1$  или  $K_2$  (кроме 6-го и 11-го соответственно) импульс отпирает соответствующую группу вентилях  $I_2 \dots I_{15}$ . Пятиэлементный код, состоящий из четырех разрядов полезной информации и одного элемента признака, записывается через группу ИЛИ<sub>1</sub>\* в сдвигающий регистр. Одновременно тот же импульс от коммутатора через группу ИЛИ<sub>2</sub> используется для запуска генератора сдвигающих импульсов ГСИ.

Коммутатор  $K_1$  работает вместе со счетчиком времени. Он запускается от сигнала окончания измеряемого промежутка времени. Импульсом из 5-го выхода перфорируются данные о диапазоне счетчика ионов, а импульс с 6-го выхода служит сигналом сброса счетчика С и сигналом о готовности счетчика времени к следующему измерению.

Коммутатор  $K_2$  определяет последовательность перфорирования данных от датчиков А И. Он запускается от сигнала программного устройства аэроионометеостанции.

Коммутаторы сконструированы таким образом, что каждый следующий сигнал для перфорирования выдается только после окончания предыдущего цикла перфорирования.

Телеграфный сигнал состоит из 7 последующих друг за другом импульсов: первый — стартовый бестоковый импульс, второй по шестой — кодовые импульсы, носящие полезную информацию и седьмой — стоповый токовый импульс.

Для преобразования параллельных кодов измеряемых величин в вышеуказанный нужный для телеграфного аппарата последовательный код служит сдвигающий регистр СР вместе с генератором сдвигающих импульсов ГСИ. В ГСИ используется циклический счетчик импульсов с коэффициентом пересчета 6, сигнал переполнения которого запирает клапан, через который импульсы поступают на счетчик. На выходе ГСИ появляется пакет из 6 импульсов, которые используются в качестве сдвигающих импульсов.

Сдвигающий регистр состоит из последовательно включенных триггеров и элементов задержки. Упрощенное объяснение его работы следующее. При подаче сдвигающего импульса все триггеры отдают свой выходной сигнал на элементы задержки, а через время задержки этот сигнал записывается в соседнем триггере. При подаче определенного числа сдвигающих импульсов на выходе крайнего триггера появляется последовательный код, соответствующий вписанному в сдвигающий регистр параллельному коду.

---

\* Символ ИЛИ означает логическое сложение. На выходе элемента ИЛИ появляется сигнал, если сигнал имеется по крайней мере на одном его входе.

Для получения старт-импульса используется импульс для запуска циклического счетчика. После этого 5 сдвигающих импульсов выдвигают код, носящий полезную информацию, 6-м импульсом сдвига оказывается на выходе регистра стоп-импульс, который постоянно прописан в крайнем левом, т. н. квазитриггере регистра.

Сигнал от выхода сдвигающего регистра поступает на двухкаскадный усилитель мощности и затем на телеграфный аппарат типа СТА-2М с перфоратором СТАП.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Siksnā, R., Measurements of large ions in the atmospheric air at Uppsala. Ark. geofys., 1957, 1, 18, 483—518.
2. Марран, Х., Об исследовании связи между плотностью атмосферных ионов и метеорологическими факторами. Уч. зап. Тартуского гос. ун-та. Тарту, 1958, 59, 108—138.
3. Прюллер П. К., Сакс О. В., Рийв Я. Я., Ионизация атмосферы и метеорологические элементы в г. Тарту с августа 1960 г. по июль 1963 г. и их гигиеническое значение. Сб. Аэроионизация в гигиене труда. Л., 1966, 195—199.
4. Prüller, P., Reinet, J., Long term Investigations of Atmospheric Ionization in Tartu, Estonian SSR. Int. J. Biometeor., 1966, 10, 2, pp. 127—133.
5. Saks, O., Automaatne fotograafilineioonide loendaja. Tartu Riikliku Ülikooli Toimetised, 1956, 42, 84—93.
6. Salvador, O., Masson, H., Enregistrement confirm de la conductibilité ionique de l'air au voisinage du sol. Le journal de physique et le radium physique appliquée. 1958, 19, p. 124.
7. Dolezalek, H., Die luftelektrische Station. Teil II, Beschreibung der Station. Gerlands Beitr. Geophys. 1962, 71, 3, S. 161—171.
8. Kilinski, E. v., Die neuen Registrieranlagen im luftelektrischen Hause des Hauptobservatoriums in Potsdam. Z. f. Met., 1953, 7, 5, S. 146—150.
9. Siksnā, R., Mobility Spectra of Ions Formed in a Room by Negative Corona Discharge. Ark. fys., 1952, 5, 26, 545—564.
10. Хлистунов В. Н., Основы цифровой электронизмерительной техники. М.—Л., 1966.

Поступила 10/II 1969 г.

## AEROIOONIDE AUTOMAATSE LOENDAJA REGISTRAATOR

V. Ird, M. Lepik

### Resümee

Esitatakse automaatse seadme kirjeldus, mis mõõdab aeroioonide tihedust ja õhu meteoroloogilisi parameetreid ja perforeerib tulemused telegraafilindile. Antakse seadme registreeriva osa blokk skeem.

Seadme kasutamisel väheneb tööjõu ja aja kulu nimetatud õhu parameetrite mõõtmisel ja tulemuste ettevalmistamisel arvutuste tegemiseks elektronarvutil.



# RECORDER OF AN AUTOMATIC COUNTER OF AIR IONS

V. Ird, M. Lepik

## Summary

Description of an automatic device is presented which measures air ion density and meteorological parameters of the atmosphere and perforates the results on a teletype tape. A skeleton diagram of the recording part of the device is given.

When using this equipment, the expenditure of labour and time on the measurement of the above parameters of the air and on the preparation of the results for a computer is reduced.

## ЭЛЕКТРОМЕТРИЧЕСКОЕ НУЛЕВОЕ УСТРОЙСТВО К СЧЕТЧИКУ АЭРОИОНОВ

О. В. Сакс, В. Я. Ирд

Описываемое электрометрическое нулевое устройство предусмотрено для сравнения медленно меняющегося потенциала с опорным постоянным напряжением. Структурная схема устройства приведена на рис. 1, принципиальная схема на рис. 2.

Устройство представляет собой измерительный усилитель, построенный по схеме модулятор-демодулятор (МДМ). В качестве модулятора применен динамический конденсатор  $C_1$  [1], емкость которого периодически меняется за счет механических колебаний одной из пластин. Вследствие этого на пластинах конденсатора возникает переменное напряжение, если к конденсатору приложена постоянная или медленно меняющаяся разность потенциалов. Переменная составляющая напряжения подается через фильтр  $C_2 R_2 C_3 R_3$  на усилитель переменного напряжения УН. Фильтр служит для ослабления эффекта модуляции сеточного тока входной лампы усилителя. Величины элементов входной цепи и фильтра выбраны по известным соображениям, изложенным, например, в работах [2, 3, 5 и др.]. При этом заданными ве-

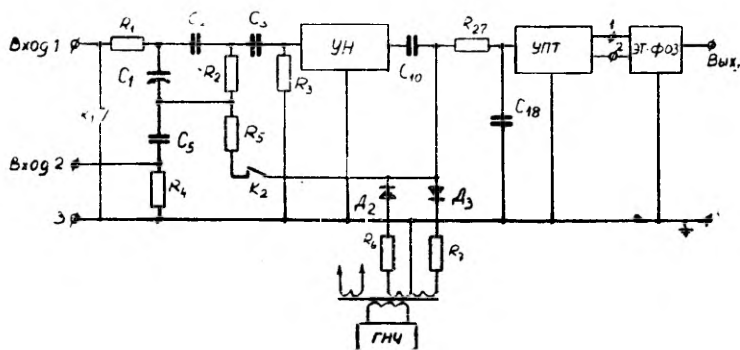


Рис. 1. Структурная схема электрометрического нулевого устройства.

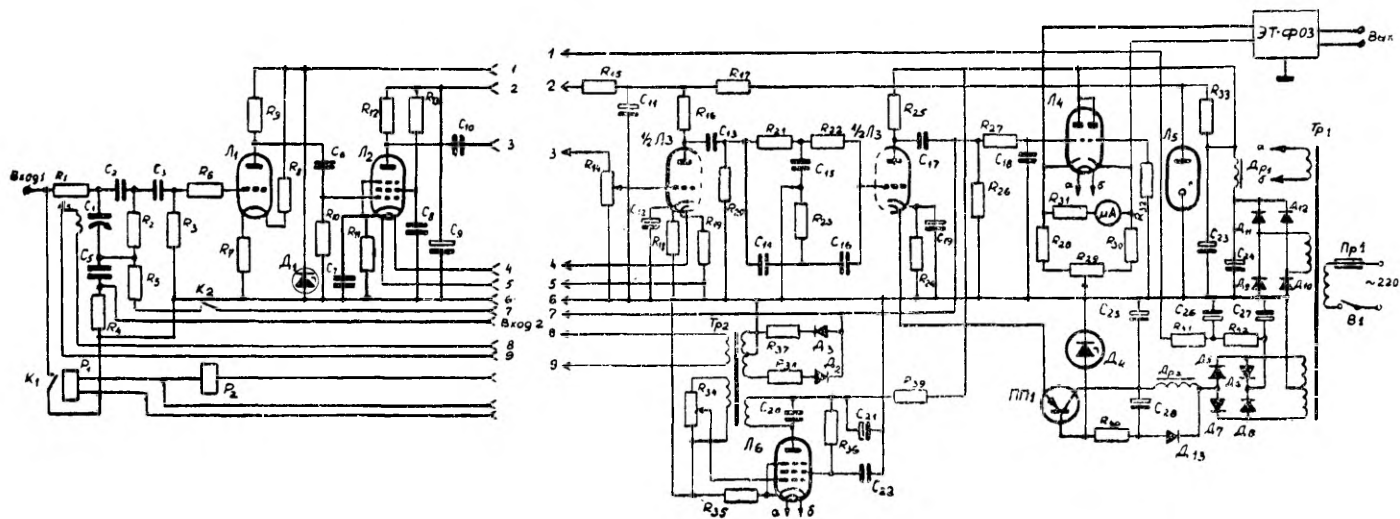


Рис. 2. Принципиальная электрическая схема электрометрического нулевого устройства.

$R_{1, 2, 3} - 1 \text{ Гом}; R_4 - 500 \text{ ом}; R_5 - 10 \text{ Мом}; R_6 - 2 \text{ Мом}; R_7 - 220 \text{ ом}; R_8 - 680 \text{ ом}; R_{9, 35} - 24 \text{ к}; R_{10, 14, 23} - 0,47 \text{ Мом}; R_{11, 18} - 20 \text{ ком}; R_{12, 16, 27} - 1,1 \text{ Мом}; R_{13, 20} - 3,3 \text{ Мом}; R_{15} - 0,18 \text{ Мом}; R_{17} - 22 \text{ ком}; R_{21, 22} - 0,91 \text{ Мом}; R_{24} - 6,2 \text{ ком}; R_{25} - 0,24 \text{ Мом}; R_{26} - 2,7 \text{ Мом}; R_{28, 29, 30} - 470 \text{ ом}; R_{31, 32} - 0,1 \text{ Мом}; R_{33} - 4,7 \text{ ком}; R_{34} - 12 \text{ Ком}; R_{35} - 240 \text{ ом}; R_{37, 38} - 45 \text{ ком}; R_{39} - 100 \text{ ом}; R_{40} - 1,5 \text{ ком}; R_{41} - 220 \text{ ом}; R_{42} - 750 \text{ ом}. C_1 - \text{динамический конденсатор}; C_{2, 3} - \text{разделительные конденсаторы}; C_5 - 1,0 \text{ мкф}; C_{6, 10, 17} - 0,05 \text{ мкф}; C_{7, 9, 11, 12, 19, 21, 22, 24} - 10 \text{ мкф}; C_8 - 0,5 \text{ мкф}; C_{13} - 0,01 \text{ мкф}; C_{14, 16} - 3300 \text{ пф}; C_{26, 27} - 50 \text{ мкф}; C_{28} - 100 \text{ мкф}; L_1 - \text{ЭМ-7}; L_5 - 6Ж1П; L_3 - C_{15, 20} - 6600 \text{ пф}; C_{18} - 0,1 \text{ мкф}; C_{25} - 500 \text{ мкф}; C_{23} - 20 \text{ мкф}; 6Н2П; L_4 - 6НЗП; L_6 - СГ1П; L_6 - 6Ж5П; Д_{1, 4} - Д813; Д_{2, 3} - Д208; Д_{5, 7} - Д242Б; Д_{6, 8} - Д7Г; Д_{9, 10, 11, 12, 13} - Д7Ж; ПП_1 - П4Б.$

личинами являлись средняя емкость динамического конденсатора  $C_1 = 15$  пф, частота модуляции  $f = 230$  гц и коэффициент модуляции  $m = 0,2$ . Под коэффициентом модуляции понимается здесь, как и в работах [1, 2, 3, 5 и др.], величина

$$m = \frac{U_{эфф}}{U_{вх}},$$

т. е. отношение эффективной величины переменного напряжения, генерируемого динамическим конденсатором, к входному постоянному напряжению.

Увеличенный усилителем УН сигнал поступает на фазочувствительный демодулятор на диодах  $D_2 D_3$ . Постоянная составляющая демодулированного сигнала подается через интегрирующую цепь  $R_{27} C_{18}$  на усилитель постоянного тока УПТ, а в исходном положении, когда контакты  $K_1$  и  $K_2$  замкнуты, также на запоминающий конденсатор  $C_5 = 1$  мкф с малой утечкой заряда. В последнем случае усилитель охвачен глубокой отрицательной обратной связью и обладает общим коэффициентом передачи, равным приблизительно единице. Конденсаторы  $C_5$  и  $C_{18}$  заряжаются практически до напряжения  $U'_{вых}$ , равного контактной разности потенциалов  $U_{кр}$  динамического конденсатора, но с обратным знаком. После размыкания контакта  $K_2$  устройство превратится в усилитель с большим коэффициентом передачи  $K_n \approx 5000$ . Напряжение на конденсаторе  $C_5$  «запоминается», а наличие на выходе, т. е. на конденсаторе  $C_{18}$  напряжения  $U'_{вых} = -U_{кр}$  не имеет существенного значения.  $|U_{вых}| = |-U_{кр}| \leq 20$  мв, приведенный к входу  $U'_{вх}$  при  $K_n = 5000$  составляет всего лишь несколько милливольт

$$|U'_{вх}| = \frac{|U_{вых}|}{K_n} \leq 4 \text{ мкв.}$$

В качестве запоминающего конденсатора  $C_5$  применен полистироловый конденсатор типа МПГТ, рекомендованный для применения в усилителях с автоматической компенсацией дрейфа нуля в тех же целях [3, 4].

Усилитель низкой частоты на лампах ЭМ-7 6Ж1П и 6Н2П обладает общим коэффициентом передачи напряжения около  $10^5$ . Для подавления помех с частотой 50 гц перед выходным каскадом включен пассивный 2Т-образный RC-фильтр.

На лампе 6С5П собран LC-генератор с трансформаторным выходом. С последнего снимаются напряжение возбуждения динамического конденсатора и опорное напряжение для фазочувствительного детектора. Последний представляет собой однополупериодный синхронный детектор на кремневых диодах  $D_{208}$  ( $D_2$  и  $D_3$ ), УПТ на лампе 6НЗП выполняет роль усилителя мощно-

сти. Он собран по схеме параллельно-балансного усилителя с несимметричным входом и с симметричным выходом.

Питание первого каскада УН стабилизировано кремневым стабилитроном Д813. Накал ламп 6Ж1П и 6Н2П осуществлен постоянным током, стабилизированным однокаскадным полупроводниковым стабилизатором. В целях уменьшения дрейфа нуля УПТ анодное напряжение стабилизировано газоразрядным прибором СГ1П.

К выходу УПТ в качестве показывающего индикатора включен микроамперметр М265 с пределом 50—0—50 мка и в качестве нулевого органа — бесконтактный функциональный элемент ЭТ-ФОЗ [6]. Потенциал катода правого триода лампы 6Н3П является опорным напряжением для нулевого органа, а потенциал катода левого триода — сравниваемым.

Бесконтактный функциональный элемент ЭТ-ФОЗ является устройством, производящим сравнение двух напряжений постоянного тока. Его основным узлом является блокинг-генератор, имеющий два входа, к которым подаются сравниваемые напряжения  $U_1$  и  $U_2$ . Релаксационные колебания возникают в устройстве только в том случае, если напряжение  $U_2$  превышает  $U_1$  на  $0,05 \div 0,1$  в или больше. Частота генерируемых блокинг-генератором импульсов равна примерно 100 гц, а длительность импульсов 200—250 мк. сек.

Появление импульсов на выходе нульоргана должно отмечать момент равенства напряжений на входах 1 и 2 электрометрического устройства. Теоретически ЭТ-ФОЗ должен в данном устройстве срабатывать, если на входе 1 потенциал превышает на 10—20 мкв потенциал на входе 2. Но опытным путем установлено, что реальная чувствительность нулевого устройства не лучше 50 мкв. Это связано с тем, что флуктуации выходного напряжения устройства, вызванные шумами входного каскада уси-

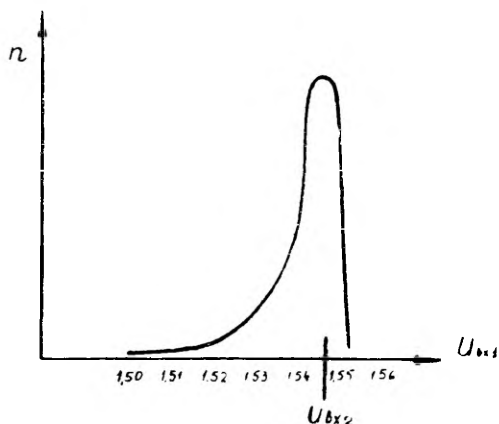


Рис. 3. Распределение срабатываний нулевого устройства.

лителя и внешними помехами, приводят к срабатыванию нульоргана раньше достижения действительного равенства потенциалов между входами 1 и 2. Одна из экспериментальных кривых распределения количества срабатываний нульоргана приведена на рис. 3. По оси абсцисс расположены показания медленно регулируемого источника напряжения, подключенного к входу 1. В то же время на входе 2 поддерживался постоянный потенциал. По оси ординат расположены количества случаев срабатывания нульоргана.

Первые два каскада усилителя вместе с динамическим конденсатором вмонтированы с целью защиты от влаги в герметичный корпус и смонтированы с измерительным аспирационным конденсатором, разработанным Тамметом [7]. Остальная часть усилителя и блок питания вмонтированы во второй блок.

Описанное электрометрическое нулевое устройство изготовлено авторами в Тартуском государственном университете в проблемной лаборатории аэроионизации и электроаэрозолей.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Сакс, О. В., О конструкции динамического конденсатора для счетчиков атмосферных ионов. Труды Всесоюзного метеорологического совещания, т. 9, Л., 1963.
2. Palevsky, H., Swank, R. K. Grenchic, R., RSJ 18, N 5, 1947.
3. Полонников, Д. Е., Электронные усилители автоматических компенсаторов. Физматгиз, М., 1960.
4. Полонников, Д. Е., Прибор для измерения малых токов и напряжений. ПТЭ, № 1, 1963, 67.
5. Лавров, М. Д., Коэффициент преобразования динамического конденсатора при электрометрии малых постоянных напряжений. Измерительная техника, № 2, 1968.
6. Гиршберг, В. В., Доманицкий, С. М., Кутлер, Н. П., Петрухин, Б. П., Прангишвили, И. В., Ходнев, В. В., Единая серия полупроводниковых логических и функциональных элементов (ЭТ). М.—Л., «Энергия», 1966.
7. Таммет, Х. Ф., Аспирационный метод измерения спектра аэроионов. Уч. зап. Тартуского гос. ун-та, вып. 195. Тарту, 1967.

Поступила 5/II 1969 г.

## ELEKTROMEETRILINE NULLSEADE AEROIOONIDE SPEKTRI MÕÕTMISEKS

O. Saks, V. Ird

Resümee

Esitatakse dünaamilise kondensaatoriga elektromeetriline nullseade, mille väljundis tekib signaal kahe sisendpinge võrdseks saamise momendil. Antakse funktsionaalne ja elektriline skeem.

Seade võimaldab tõsta aeroioonide spektromeetri tundlikkust ning töökiirust ja annab võimaluse spektromeetri töö automatiseerimiseks.

## **ELECTROMETRIC NULL DEVICE FOR MEASURING THE AIR ION SPECTRUM**

**O. Saks, V. Ird**

### **S u m m a r y**

The paper is concerned with an electrometric null device supplied with a dynamic condenser. In the output of the null device there arises a signal the moment two input potentials become equal. A functional and electric scheme is presented.

The device enables one to increase the sensitivity of the air ion spectrometer and its operating speed, likewise it provides an opportunity of automating the operation of the spectrometer.

## АВТОМАТИЧЕСКИЙ СЧЕТЧИК АЭРОИОНОВ С ПЕРФОРЕГИСТРАТОРОМ

В. Я. Ирл

Длительное систематическое исследование атмосферной ионизации мыслимо лишь с применением автоматической аппаратуры, как, например, в работе Прюллера [1]. Независимо от того, с какой целью проводятся эти исследования или где находят применение их результаты, данные измерения спектра аэроионов нуждаются в математической обработке, которую целесообразно проводить на электронной вычислительной машине.

Известно немало работ, где описаны автоматические устройства для регистрации ионизации атмосферы.

В работе [2] описан счетчик аэроионов со струнным электрометром и фоторегистратором. Перемещение указателя электрометра регистрировалось на фотобумагу. Принципиально аналогичная аппаратура описана также в работе [3].

В ряде работ [1, 4, 5] данные измерений регистрируются в виде графиков на бумажной ленте с помощью точечного электрического самопишущего прибора.

При изучении ионизации атмосферного воздуха целесообразно одновременно с измерением концентрации аэроионов регистрировать и другие характеристики состояния атмосферы. Например, в работе [2] шестикрасочным самописцем на бумажной ленте, кроме концентрации легких ионов обеих полярностей, регистрируются еще и атмосферное давление, температура и влажность воздуха и скорость ветра. В работе [6] фотографическим методом регистрируется, кроме ионизации воздуха, также время проведения измерения и напряжения на измерительном конденсаторе. В работе [5] регистрируются проводимость воздуха обеих полярностей, напряженность электрического поля и плотность вертикального тока атмосферы. Аналогичные данные представлены в работе [7].

В работе [8] описан спектрометр типа СИ-62, измерительный конденсатор которого выполнен в виде выносной головки со шлангом. Это позволяет осуществлять измерение в зоне повышенной ионизации в труднодоступных местах и запыленном воздухе.



У этого прибора имеется возможность регулировки напряжений измерительного конденсатора в пределах от 0 до 250 в с целью измерения спектра аэроионов.

Авторами автоматических регистраторов [4, 5] измеряется ток аспирационного конденсатора электрометром, построенным на электрометрической лампе. В работе [9] применен с этой целью электрометр с динамическим конденсатором. В этом случае значительно увеличивается чувствительность счетчика [9].

В работах [4, 5] примененные датчики метеорологических параметров выдают информацию в виде напряжений, которые регистрируются точечным самописцем.

В работах [10, 11] применен нулевой метод измерения, имеющий значительные преимущества по сравнению с классическим методом, а именно, быстроту и точность.

В настоящее время не существует прибора для регистрации спектра аэроионов, который на уровне современных технических возможностей давал бы данные измерений в пригодной форме для электронной вычислительной машины. Одновременно с регистрацией ионизации атмосферы необходимо фиксировать ряд других параметров, характеризующих метеорологические условия.

Целью настоящей работы была разработка такого счетчика аэроионов, который значительно уменьшил бы трудоемкость измерительных процессов и длительность обработки данных измерений. Кроме того, обращалось внимание на уменьшение некоторых инструментальных погрешностей измерения ионизации по сравнению с известными спектрометрами и счетчиками аэроионов.

Нижеописываемая аппаратура работает автоматически [12] по установленной программе и регистрирует на перфоленте данные измерения спектра аэроионов обеих полярностей. В начале и в конце циклов измерений могут регистрироваться данные до десяти датчиков. Информация от датчиков регистрируется в виде пятизначного параллельного кода. Время измерения задается программными часами.

Регистрация данных на бумажной телеграфной перфоленте дает возможность ввода зарегистрированных величин в электронную вычислительную машину для обработки без дополнительных операций.

За основу разработки описываемого счетчика принят метод накопления заряда как самый экономный в смысле затраты времени, метод измерения малого тока [13]. При этом методе измеряется промежуток времени, необходимый для накопления заряда на измерительном конденсаторе на заданную величину.

При аспирационном методе измерения спектра аэроионов определяется величина тока ионов при разных напряжениях на аспирационном измерительном конденсаторе. Чтобы спектр аэро-

ионов в течение полного цикла измерений можно было считать в первом приближении постоянным, необходимо все измерения проводить за наиболее короткий промежуток времени.

Структурная схема автоматического счетчика аэроионов с перфорегистратором [АСП] приведена на рис. 1. Изучаемый воздух просасывается вентилятором через измерительный конденсатор  $C_{\text{и}}$ . Объемная скорость воздуха контролируется ротаметром. Внутренняя обкладка конденсатора  $C_{\text{и}}$  заряжается от источника напряжения измерительного конденсатора до напряжения  $U_{\text{и}}$  и через определенное время автоматически отключается. Под воздействием зарядов заряженных частиц воздуха накапливающиеся на внутренней обкладку конденсатора  $C_{\text{и}}$  ионы воздуха уменьшают первоначальное напряжение  $U_{\text{и}}$ . Изменение напряжения передается через разделительный конденсатор  $C_{\text{р}}$  [14] на электрометрическое нулевое устройство [ЭНУ], описанное в настоящем сборнике [15]. В тот момент, когда меняющееся напряжение достигает заданного уровня, ЭНУ выдает соответствующий сигнал, поступающий дальше на измеритель времени. Последним определяется промежуток времени, затраченный на накопление заряда. Данные продолжительности накопления заряда перфорируются на стандартную телеграфную ленту телеграфным аппаратом СТА-2М.

Для автоматического запуска измерений в заданное время служат программные часы. Эти часы выдают также кодированное в пятизначном параллельном коде суточное время.

При выборе элементов аппаратуры и схемных решений за основу приняты следующие условия.

- а) Питание от сети переменного тока 220 в.
- б) Температура окружающего воздуха от  $+5$  до  $+40^{\circ}\text{C}$ .
- в) Автоматическая работа производится по установленной программе не менее одних суток без дополнительной регулировки.
- г) Рабочая температура для аспирационного измерительного конденсатора от  $-30$  до  $+40^{\circ}\text{C}$ .
- д) Данные должны регистрироваться перфорированием на бумажной телеграфной ленте Гост 1392-51 в виде пятизначного международного кода № 2.

В качестве  $C_{\text{и}}$  применен аспирационный конденсатор, сконструированный Х. Тамметом, и описанный в работах [14, 16]. В этой конструкции разделительный конденсатор  $C_{\text{р}}$  дает возможность применить электрометр, у которого одна входная клемма заземлена. Это облегчает требования к конструкции электрометра.

Стабилизированный источник высокого напряжения измерительного конденсатора питается от сети через трансформатор. В качестве органа опорного напряжения в стабилизаторе использован коронный стабилитрон типа СГ301. Выходные клеммы ста-

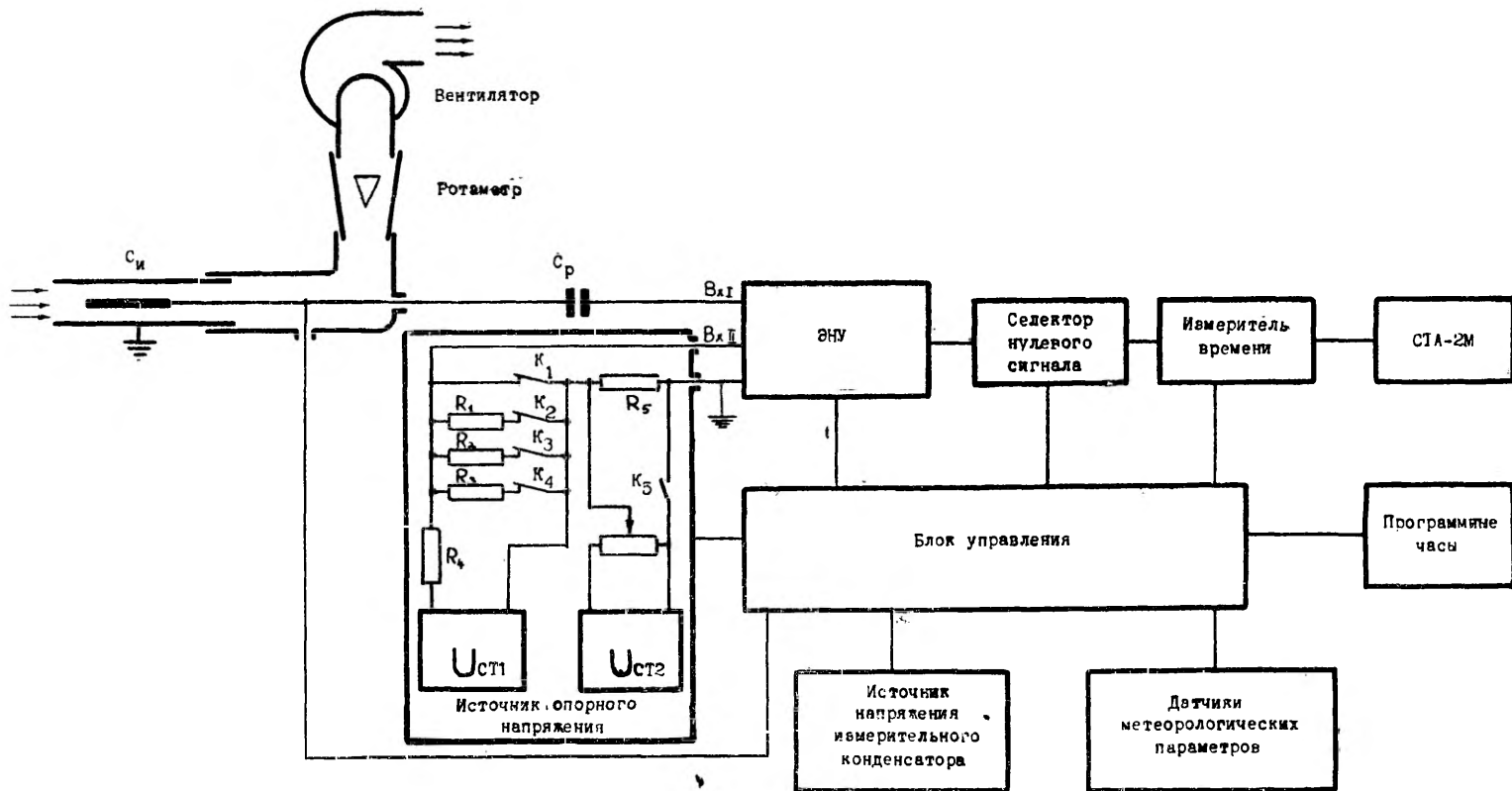


Рис. 1. Структурная схема аппаратуры.

билизатора изолированы от корпуса, но могут поочередно заземляться. Максимальное выходное напряжение стабилизатора 2500 в, ток нагрузки до 1 ма.

Источник опорного напряжения служит источником образцового напряжения для ЭНУ [15]. Он должен сохранять свои параметры при изменении температуры и влажности окружающего воздуха. Пульсация напряжения должна быть менее 0,01 мв. Успешно применим в качестве источника образцового напряжения полупроводниковый стабилизатор напряжения [17]. Стабилизатор имеет составной транзистор и однокаскадный усилитель постоянного тока, в качестве стабилитрона применен диод Д808.

С целью уменьшения наводок делитель напряжения выбран малоомным, а все проволоочные резисторы намотаны из манганинового провода бифилярно и подогнаны с точностью до 0,05%. Выбор величины резистора  $R_4$  (рис. 1) зависит от выходного напряжения стабилизированного источника. Ключи  $K_1 - K_4$  являются переключателями пределов измерений.

Для смещения нуля ЭНУ, необходимого для компенсации сброса нуля в начале измерения, служит источник  $U_{ст2}$  (рис. 1),

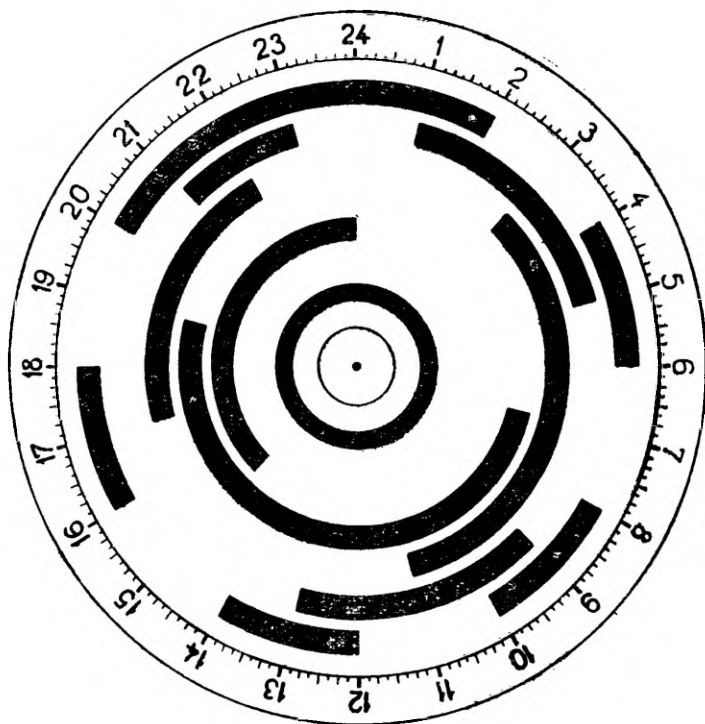


Рис. 2. Контактное поле программных часов.

аналогичный источнику  $U_{с1}$ . К выходу источника подключен проволочный потенциометр, с помощью которого можно подбирать напряжение на резисторе  $R_5$ , необходимое для смещения нуля.

В заданное время суток аппаратура запускается программными часами. Часы изготовлены на базе часового механизма Х-1 с пружинным мотором. Неточность хода этих часов не превышает  $\pm 1$  мин. в сутки. Серийно выпускаемый механизм предназначен для привода круглой диаграммы самопишущих приборов. Ход часов после полного завода 6 суток.

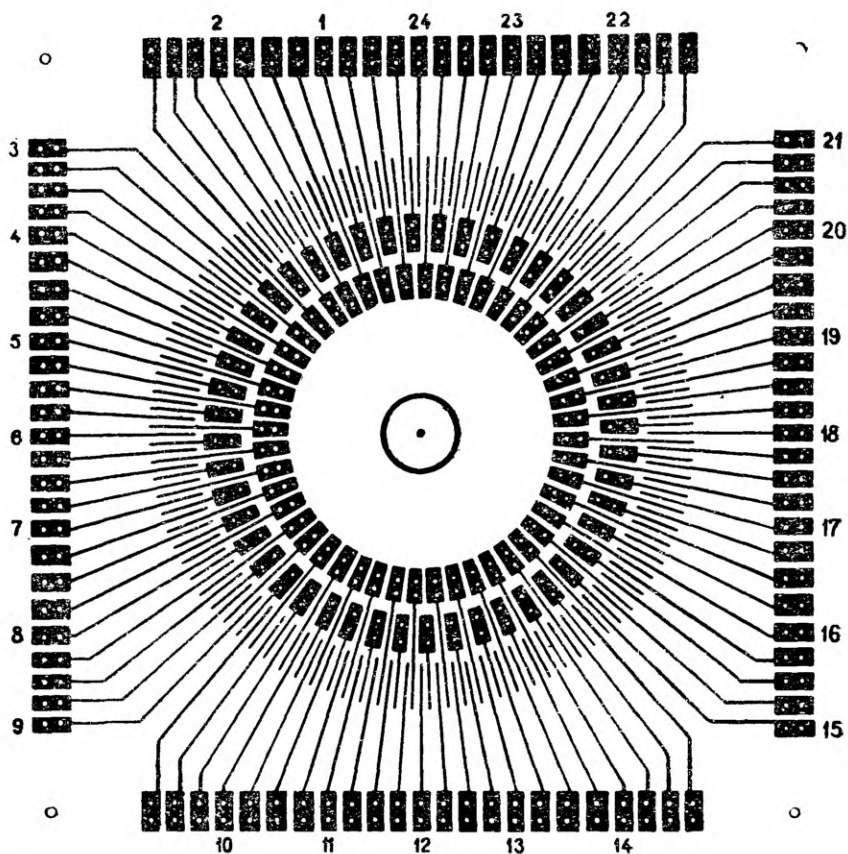
Переделка часов заключалась в том, что на выведенную ось часов вместо диаграммной бумаги прикреплен кодовый диск датчика времени (рис. 2), он служит для выдачи времени в параллельном пятизначном коде. На кодовых дорожках диска контактируют 6 неподвижных контактов. Один контакт выполняет роль токопровода. От пяти остальных контактов выдается кодированное время. Точность отсчета времени  $\pm 30$  мин. Для исключения ложных сигналов в момент изменения кода выбран код Грея, в котором в определенный момент меняется только один знак кода.

К выведенной оси часов прикреплен еще токопроводящий контакт, который включает по очереди контакты контактного поля (рис. 3). С каждого контакта этого поля можно получить электрический сигнал один раз в сутки. Между соседними контактами интервал сигналов 7,5 мин. Включением соответствующих контактов задается время начала работы аппаратуры.

Общеизвестно, что нулевой метод измерения дает возможность устранить некоторые погрешности измерительной аппаратуры. При нулевом методе точность измерения в основном зависит от погрешности определения образцовой меры и чувствительности нулевого органа. Как правило, погрешность может увеличиваться за счет инерционности сравнивающего устройства. В описываемом устройстве примененный вариант нулевого метода дает возможность уменьшить погрешность измерения, обусловленную инерционностью ЭНУ и автоматических механизмов.

Весь основной процесс измерения спектра аэроионов сводится к измерению промежутков времени. Измеритель времени работает методом счета импульсов известной частоты. Описание измерителя времени и перфорегистратора приведено в настоящем сборнике [18]. Работа измерителя времени управляется сигналами ЭНУ через селектор нулевых сигналов. Селектор нулевого сигнала пропускает только те сигналы ЭНУ, которые появляются на выходе ЭНУ во время проведения измерений, т. е. когда все нужные манипуляции для измерения промежутков времени проведены.

Совместную работу ЭНУ и измерителя времени поясняет рис. 4.



Р и с. 3. Кодовый диск времени.

В момент  $t_0$ , т. е. после отключения обратной связи [см. 15], в зависимости от знака случайного паразитного напряжения и помех, на выходе ЭНУ либо появляется сигнал, либо отсутствует. На рис. 4 обозначено случайное напряжение через  $U_{сл}$ , которое нормально никогда не превышает  $\pm 0,1$  мв. Для устранения выходного сигнала, вызванного  $U_{сл}$ , подается от источника  $U_{ст2}$  контактом  $K_5$  небольшое напряжение  $\Delta U_0$  с определенной полярностью на вход II, которым смещается «нуль» ЭНУ.

По мере накопления заряда аэроионов на конденсаторе  $C_{\Pi}$  меняется его потенциал, а вместе с тем и потенциал на входе I ЭНУ (рис. 4, кривая  $U_{вх1}$ ). В момент  $t_1$ , когда потенциал на входе I несколько бы не превышал потенциал входа II, по принципу должен появиться выходной сигнал, запускающий измеритель времени. В действительности же, из-за наличия интегрирующей

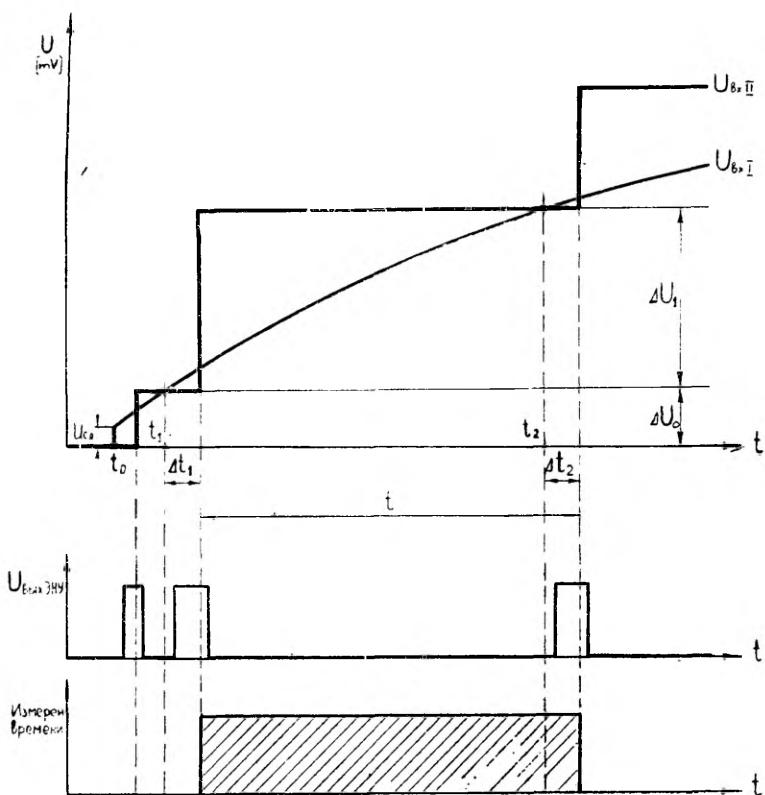


Рис. 4. Временная диаграмма работы ЭНУ.

цепи в ЭНУ, выходной сигнал появляется с опозданием, а из-за инерционности измерителя времени опаздывание увеличивается еще на некоторый промежуток времени. Таким образом суммарное опаздывание срабатывания времени достигает некоторой величины  $\Delta t_1$ .

Одновременно со срабатыванием измерителя времени размыкается контакт  $K_2$ , который смещает потенциал входа II на  $\Delta U_1$ . После этого сигнал на выходе ЭНУ исчезает, так как опять  $U_{вх II} > U_{хв I}$

Возрастание потенциала аспирационного конденсатора может протекать как по нелинейному так и линейному закону в зависимости от того, меняется или не меняется величина тока аэроионов за промежуток времени  $t_2 - t_1$  (могут меняться концентрация и спектр аэроионов)

В момент  $t_2$ , когда потенциал на входе I опять превышает потенциал входа II, на выходе ЭНУ появляется сигнал, а с некоторым опозданием  $\Delta t_2$  останавливается измеритель времени.

Ясно, что истинный промежуток времени  $t_2 - t_1$  отличается от регистрируемого промежутка времени  $t$  тем меньше, чем меньше отличаются друг от друга  $\Delta t_1$  и  $\Delta t_2$ . Их разность может быть вызвана следующими факторами.

1. Криволинейным изменением потенциала на аспирационном конденсаторе.
2. Нестабильностью источников опорных напряжений  $U_{ст1}$   $U_{ст2}$ .
3. Флуктуационными шумами входного устройства ЭНУ
4. Наводками, механическими и электрическими помехами, воздействующими на аспирационный конденсатор, а также на ЭНУ

Факторы 1 и 3 принципиально не устранимы, но первый из них в большинстве случаев практически незначителен.

Подводя итог, можно сказать, что точность измерения времени  $t_2 - t_1$ , необходимого для накопления заданного количества зарядов аэроионов, зависит в основном от вариации величины  $|\Delta t_1 - \Delta t_2|$ , а не от инерционности узлов регистрирующего устройства.

Вышеописанная аппаратура спроектирована и изготовлена в проблемной лаборатории аэроионизации и электроаэрозолей Тартуского государственного университета. Автоматическая работа аппаратуры открывает возможность проводить разные исследования ионизации атмосферы.

Автор выражает глубокую благодарность ст. преподавателю О. В. Саксу за ценные предложения при проектировании описанной аппаратуры и доценту Я. Ю. Рейнету за руководство и предоставление возможности проведения данной работы.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Прюллер, П. К., Исследование спектра атмосферных ионов, гигиеническое и биометеорологическое значение ионизации атмосферы по данным измерений в г. Тарту. В настоящем выпуске.
2. Greinacher, H., Klein, W., Über einen Apparat zur Dauerregistrierung der spezifischen Ionenzahl der Atmosphäre. Gerlands Beitr. Geophys., 51, 1937, S. 298—307.
3. Wait, G. R., Torreson, O. W., The large-ion and small-ion content of the atmosphere at Washington. Terr. Magn. and Atmos. Electr. 1934, 39 (№ 2), p. 111—119.
4. Hock, A., Schmeer, H., Über ein Gerät zur Störfeldfreien Luftionennmessung und einen Impulszähler zur direkten Anzeige der Windgeschwindigkeit, 1962. Z. angew. Phys. 14 (H7), 398—404.
5. Dolezalek, H., Die Luftelektrische Station, Teil II: Beschreibung der Station. Gerlands Beitr. Geophys. 1962, 71 (H3), S. 161—171.
6. Saks, O., Automaatne fotograafilineioonide loendaja. Tartu Riikliku Ülikooli Toimetised 1956, 42, 84—93.
7. Kilinski, E. V., Die Neuen Registrieranlagen im luftelektrischen Hause des Hauptobservatoriums in Potsdam. Z. f. Meteorol., 1953, 7, 5, S. 146—150.



8. Китаев, А. В., Клойз, Л. Н., Спектрометр ионов и электроаэрозолей. Тр. Всес. НИИ мед. INSTR. и оборуд., 1. 1963, 131—134.
9. Рейнет, Я. Ю., Таммет, Х. Ф., Сальм, Я. И., К методике изучения ионизации воздуха в курортологии и физиотерапии. Сб.: Материалы I респ. съезда физиотерапевтов и курортологов УССР, посвящ. 100-летию со дня рожд. проф. А.-Е. Щербака. Госмедиздат УССР, Киев, 1963, с. 124—124.
10. Vasiliu, Ch., Calinicenco, N., Onu Const, Determinări de conductibilități ale aerului în regiuni de munte. Bul. stiint. Acad. RPR Sec. mat. si fiz. 1954, 6 (№ 2), p. 397—405.
11. Vasiliu, Ch., Calinicenco, N., Mateiciuc, V., Contributii relativ la metodele intrebuintate in masurarea-conductibilitati electrice a aerului. Bul. Inst. Politehn. 1956 Iasi 2 (№ 1—2), p. 67—80.
12. Ирд, В. Я., Якобсон, А., О применении полупроводниковых логических и функциональных элементов (ЭТ) в автоматическом счетчике аэроионов. В настоящем выпуске.
13. Schubert, G., Anwendungsmöglichkeiten des Swingkondensator — Voltmeters VA—J—52, Radio und Fernsehen 15 (1966) H. 14, S. 427—429.
14. Таммет, Х. Ф., Аспирационный метод измерения спектра аэроионов. — Труды по аэроионизации и электроаэрозолям, II. Уч. зап. Тартуского гос. ун-та, Тарту, 1967.
15. Сакс, О. В., Ирд, В. Я., Электрическое нулевое устройство к счетчику аэроионов. В настоящем выпуске.
16. Таммет, Х. Ф., Счетчик аэроионов. Бюл. изобрет. № 20, авт. свид. № 151071.
17. Левин, М. И., Додик, С. Д., К вопросу о длительной стабильности (дрейфе) стабилизаторов с кремневыми стабилитронами. — Измерительная техника, 1963, № 10, 42—43.
18. Ирд, В. Я., Лепик, М. Э., Регистратор автоматического счетчика аэроионов. В настоящем выпуске.

Поступила 15/I 1969 г.

## REGISTRAATORIGA AUTOMAATNE AEROIOONIDE LOENDUR

V. Ird

Resümee

Perforegistraatoriga automaatses aspiratsioonkondensaatoriga aeroioonide loendajas on kasutatud aspiratsioonkondensaatoril aeroioonide tekitatud pinge muutuse mõõtmiseks nullmeetodit. Võrdleva elemendina on kasutatud dunaamilise kondensaatoriga elektromeetrilist nullseadet.

Loendaja käivitatakse programmkellaga. Automaatne juhtimine toimub pooljuhtautomaatika elementidega. Mõõtmisandmed ja andmed kümnelt paralleelkoodväljundiga andurilt perforeeritakse standardsele telegraafi perfolindile.

Loendaja on ette nähtud pikemaajaliste automatiseeritud aeroionisatsioonialaste uurimiste tegemiseks.

# **AUTOMATIC AIR ION COUNTER WITH A TELETYPE RECORDER**

**V. Ird**

## **S u m m a r y**

To measure changes in the potential called forth by air ions in an aspiration counter supplied with an automatic teletype recorder, the null-method is used. A null-device with a dynamic condenser is used as a reference element.

The counter is started by a clock supplied with a programming device. Automatic control is carried out by automatic semiconductor cells. The measuring data and the data from ten transducers with a parallel-code output are punched on a standard teletype perforated tape.

The counter is intended for the carrying out of long-term automated air-ion studies.

## **О ПРИМЕНЕНИИ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ЛОГИЧЕСКИХ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ (ЭТ) В АВТОМАТИЧЕСКОМ СЧЕТЧИКЕ АЭРОИОНОВ**

**В. Я. Ирд, А. Ф. Якобсон**

Автоматические счетчики аэроионов изготовлены, как правило, с применением электромагнитных реле [1, 2]. Как известно, применение бесконтактных элементов автоматики повышает надежность работы всего устройства в несколько раз. Увеличивается также быстродействие.

В автоматическом счетчике аэроионов, изготовленном автоами, применены полупроводниковые логические и функциональные элементы серии ЭТ [3].

Схема управления счетчика аэроионов обеспечивает запуск счетчика от программных часов в заданное время суток. При помощи программных часов возможно включение вентилятора раньше включения счетчика на 7—15 мин.

Перед началом работы счетчика сигналом запуска все элементы вводятся в исходное положение и регистрируется информация в пятизначном коде от 10 датчиков. Датчики служат источниками информации о метеорологических факторах воздуха, например о направлении ветра, силе ветра, температуре воздуха, давлении, относительной влажности и т. п. После этого начинается регистрация спектра аэроионов. Для этого измеряется время изменения напряжения на заданную величину за счет зарядов аэроионов аспирированного воздуха при разных напряжениях измерительного аспирационного конденсатора. Эта регистрация состоит из единичных измерений. Единичное измерение начинается заряджением аспирационного измерительного конденсатора через контакты электромагнитного выключателя, после чего отключаются заземление входа электрометрического нулевого устройства и ее обратная связь [4]. Время, нужное для накопления заряда на заданную величину, измеряется регистратором времени [5]. Измеренное время характеризует количество ионов в аспирированном воздухе.

Перфорация данных одного измерения служит сигналом для

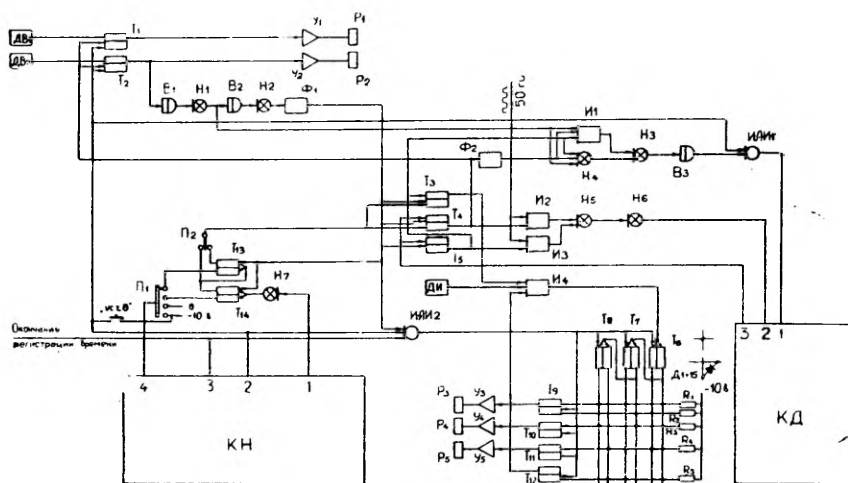


Рис. 1. Структурная схема.

Обозначения элементов: Т — триггер; И — элемент И; ИЛИ — элемент ИЛИ; У — усилитель; В — элемент времени; Н — элемент ИЛИ-НЕ; Ф — формирователь импульса; П — переключатель.

начала следующего измерения. Эти измерения можно проводить при разных напряжениях измерительного конденсатора в зависимости от установленной программы. На переключателе ПЗ (рис. 2) один цикл состоит из 30 измерений. После такого цикла имеется возможность повторить снова этот же цикл или цикл при таких же напряжениях измерительного конденсатора, но с обратной полярностью. Повторение циклов можно довести до четырех раз, после чего регистрация спектра аэроионов прекращается, регистратором перфорируются сигналы от 10 датчиков, после чего работа счетчика прекращается до запускающего сигнала от часов.

Структурная схема блока управления автоматического счетчика аэроионов приведена на рис. 1. Схема запускается от датчиков времени, датчиком ДВ<sub>1</sub> запускаются вентиляторы через магнитный выключатель Р<sub>1</sub>, датчиком времени ДВ<sub>2</sub> запускается автоматическая работа счетчика и реле Р<sub>2</sub> включает электродвигатель перфоратора.

Все триггеры через элементы В<sub>1</sub>, В<sub>2</sub>, Ф<sub>1</sub> переводятся в исходное положение по группам и триггером Т<sub>5</sub> открывается элемент И<sub>3</sub>. Коммутатор датчиков КД управляется сигналом 50 гц через И<sub>3</sub>. Через коммутатор КД информация направляется от датчиков параметров ДП 1 ÷ 10 (рис. 3) к регистратору через выходы 5 ÷ 9, команда для регистрации получается с выхода 4. В конце цикла работы коммутатора сигналом с выхода 3 запускается триггером Т<sub>3</sub> измерение спектра аэроионов. Зарядку измеритель-

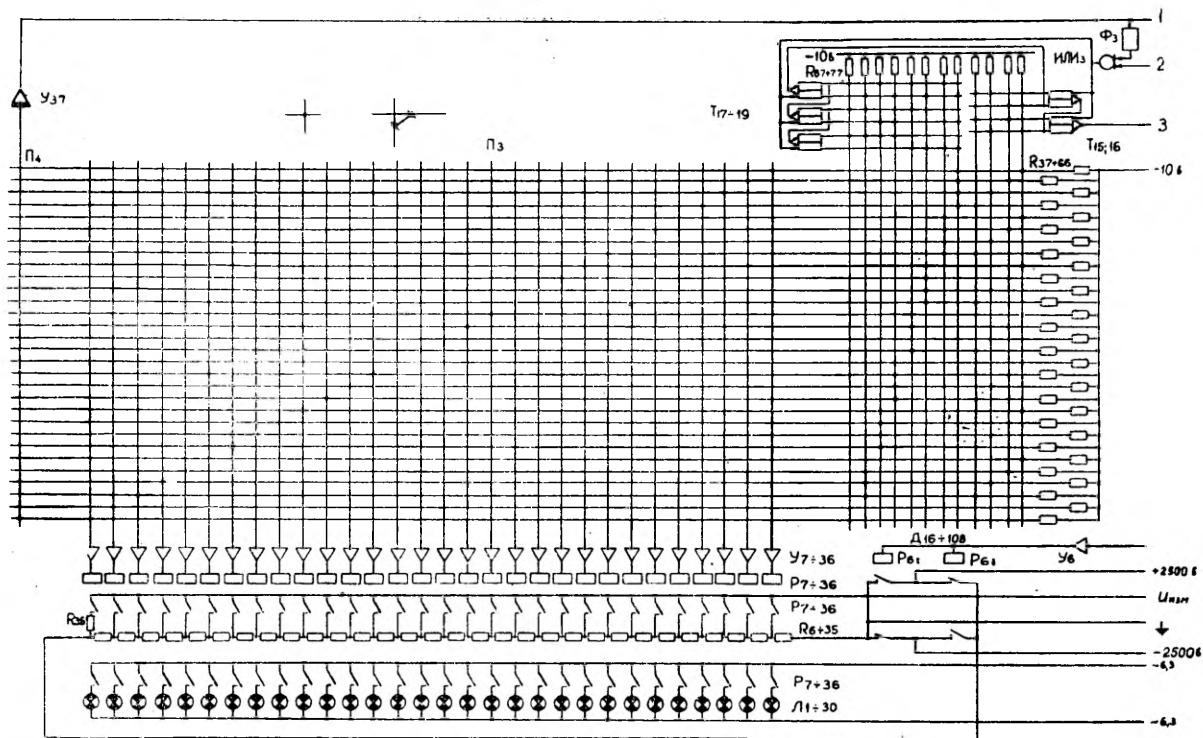
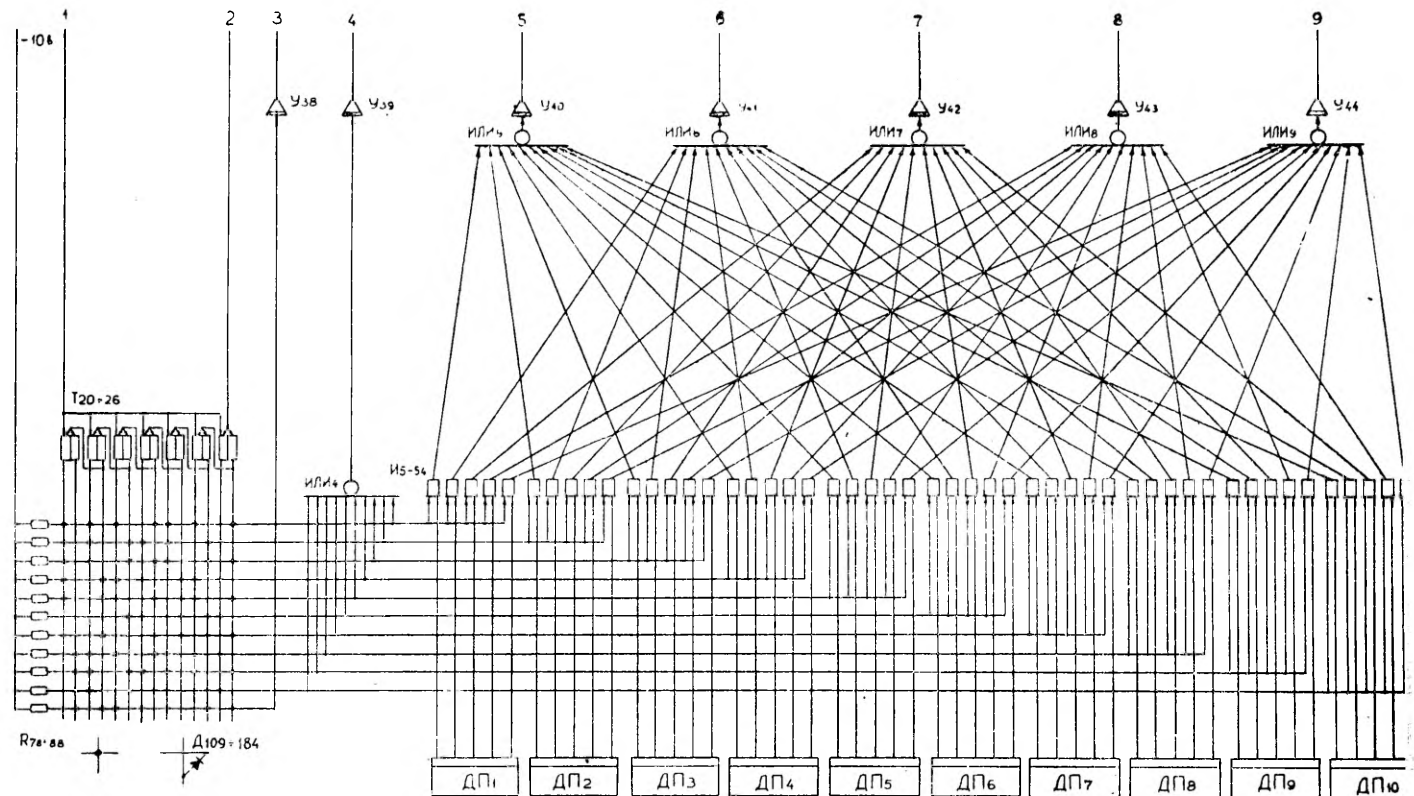


Рис. 2. Коммутатор напряжений КН.



Р и с. 3. Коммутатор датчиков КД.

ного аспирационного конденсатора производят с помощью реле  $P_3$ ,  $P_4$  служит для отключения заземления входа и  $P_5$  — обратной связи электрометрического нулевого устройства [4]. Командные сигналы управлений реле поступают от генератора импульсов ДИ [6]. Окончание регистрации времени служит сигналом для начала следующего единичного измерения. Этот же сигнал поступает на вход распределителя сигналов коммутатора напряжения КН (рис. 2), построенного на основе двоичного счетчика  $T_{15} \div T_{19}$  и диодного дешифратора  $D_{45} \div D_{138}$ . Дешифратор имеет 30 выводов, на одном из них находится сигнал. Реле  $P_{7 \div 36}$  соединены с дешифратором через переключатель  $P_3$ . Переключатель  $P_3$  представляет собой два комплекта шин — горизонтальные и вертикальные. Все шины друг от друга изолированы. В местах перекрещивания имеется возможность электрического соединения. При такой конструкции переключателя имеется возможность включения любой комбинации срабатываний реле  $P_{7 \div 36}$ . На рис. 3 соединения произведены таким образом, что все реле срабатывают по очереди. Контакты реле  $P_{7 \div 36}$  включают напряжение с делителя напряжения  $R_6 \div R_{35}$  величиной  $U_{изм.}$  на измерительный аспирационный конденсатор. Сигнальные лампы  $L_1 \div L_{30}$  служат для индикации работы коммутатора напряжения. Переключатель  $P_4$  аналогичен по конструкции  $P_3$  и служит для установления количества измерений одного цикла. На схеме рис. 3 установлен цикл с 30 единичными измерениями.

Триггеры  $T_{13}$  и  $T_{14}$  (рис. 1) служат для повторения цикла единичных измерений. Переключателем  $P_2$  устанавливается 2 или 4 цикла измерений. Переключатель  $P_1$  определяет полярность измерений. В верхнем положении контакта (рис. 1) проводятся измерения по очереди положительных и отрицательных аэроионов. Во втором положении первые два цикла одной и следующие два цикла другой полярности. После проведения всех заданных циклов триггером  $T_4$  открывается  $I_2$  и регистратором из коммутатора датчиков КД регистрируются данные датчиков, как и в начале работы. Схема возвращается в исходное положение и начинает снова работать при поступлении сигнала от датчика времени  $ДВ_2$ .

В заключение можно отметить, что логические и функциональные элементы серии ЭТ отвечают требованиям, предъявляемым при составлении схемы управления автоматического счетчика аэроионов. К тому же они позволяют упростить монтаж схемы и устранить неисправностей при дальнейшей эксплуатации.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Saks, O., Automaatne fotograafiline ionide loendaja. Tartu Riikliku Ülikooli Toimetised, 42, 1956, lk. 84—93.
2. Dolezalek, H., Die luftelektrische Station. Teil II, Beschreibung der Station. Gerlands Beitr, Geophys. 1962, 71, 3, S. 541—607.

3. Гиршберг В. В., Доманицкий С. М., Кутлер Н. П., Петрухин Б. П., Прангшвили М. В., Ходнев В. В., Единая серия полупроводниковых логических и функциональных элементов (ЭТ). М.—Л., «Энергия», 1966.

4. Сакс, О. В., Ирд, В. Я., Электрометрическое нулевое устройство. — В настоящем сборнике.

5. Ирд, В. Я., Лепик, М. Э., Регистратор автоматического счетчика аэроионов. — В настоящем сборнике.

6. Морозов Р. П., Кузнецов Б. А., Савченко В. Н., Элемент выдержки времени для транзисторных систем бесконтактного управления. Информационный научно-технический сборник: Автоматика и приборостроение, № 2(18). Киев, 1964, с. 22—25.

Поступила 25/1 1969 г.

## **POOLJUHTLOOGIKA JA FUNKTSIONAALELEMENTIDE (ЭТ) KASUTAMISEST AUTOMAATSES AEROIOONIDE LOENDURIS**

**V. Ird, A. Jakobson**

*Resümee*

Esitatakse aeroioonide aspiratsioonloenduri automaatse juhtimise skeem ehitatuna pooljuht-automaatikaelementide (peamiselt elementide ЭТ) kasutamisel.

## **ON THE USE OF SEMICONDUCTOR ELEMENTS (ЭТ) IN SELF-RECORDING AIR ION COUNTERS**

**V. Ird, A. Jakobson**

*Summary*

The paper presents a scheme of the automatic control of the air ion aspiration counter mounted on semiconductor elements, chiefly elements of the ЭТ series. A device of such a design is reliable.



## ОБ ИМПУЛЬСНОМ ВЧ РАЗРЯДЕ В ВОЗДУХЕ В ПРОМЕЖУТКЕ ОСТРИЕ-ПЛОСКОСТЬ

В. А. Веймер, К. Ф. Куду

Установившейся формой ВЧ разряда на частоте 20 Мгц в разрядном промежутке острие-плоскость является, как известно, факельный разряд. Этот вид разряда развивается из ВЧ вспышки [1, 2]. Особый интерес для выяснения механизма образования высокочастотной вспышки, а также следующего за ней образования факельного разряда, представляет исследование этих явлений в импульсном ВЧ режиме. Суть метода заключается в том, что, подвергая разрядный промежуток действию ВЧ радиоимпульсов высокого напряжения, можно, варьируя в широких пределах длительность импульсов, получать различные фазы развития ВЧ разряда. Ниже приводятся предварительные результаты, полученные предложенным методом.

### Экспериментальная установка

В качестве источника ВЧ колебаний был применен генератор, позволяющий получить колебания в диапазоне частот от 6 до 24 Мгц. В данной работе была использована частота 20 Мгц. Импульсный модулятор для генератора был собран на лампе 6П13С и управлялся импульсным генератором Г5-6А, который мог работать как в периодическом режиме, так и в режиме одиночного запуска. На выходе установка позволяла получать прямоугольные радиоимпульсы амплитудой  $U=0 \div 15$  кВ, длительностью от 5 мксек до 50 мсек с фронтами нарастания и спада менее 3 мксек.

Разрядный промежуток состоял из острия в виде платиновой проволоки диаметром  $d=1,5$  мм с полусферически обработанным концом и латунного диска диаметром 150 мм на расстоянии 50 мм над острием (см. рис. 1). ВЧ напряжение подводилось от генератора к острию через согласующие контуры (на рис. 1 не показаны) и повышающий контур, состоящий из катушки L и паразитной емкости между острием и «землей». ВЧ напряжение

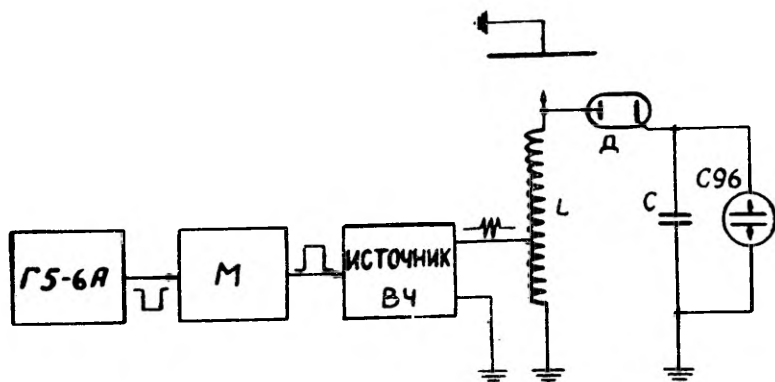


Рис. 1. Блок-схема экспериментальной установки. Г5-6А — генератор импульсов, М — модулятор, L — катушка повышающего контура, С — измерительный конденсатор, Д — измерительный диод, С-96 — статический вольтметр.

на острие измерялось осциллоскопом ЭО-58М, который был калиброван диодным вольтметром, состоящим из диода марки AG 1006, статического вольтметра С 96 и конденсатора емкостью в 470 пф. Калибровка производилась в непрерывном режиме. Форма разряда наблюдалась визуально и фотографировалась зеркальной камерой «Зенит-3м» с объективом «Юпитер» светосилы 1 : 1,5.

### Результаты наблюдений

Были измерены пороговые напряжения возникновения ВЧ разряда при различных длительностях радиоимпульсов в интервале от 5 мксек до непрерывного ВЧ сигнала. С точностью до 5% отличия в пороговых напряжениях не наблюдалось. В непрерывном режиме пороговое напряжение оказалось равным 6,8 кв.

В то же время, как показали опыты, форма возникающего разряда сильно зависит как от длительности, так и от амплитуды радиоимпульса.

Была исследована последовательность фаз развития ВЧ всплеск в зависимости от длительности радиоимпульса при их постоянной (7 кв) амплитуде (рис. 2—11).

Для сравнения на рис. 2—11 приведены фазы ВЧ всплеск при одинаковом увеличении (около 4×). Для более детального анализа начальных стадий развития ВЧ всплеск виды разряда при более коротких (5 мксек, 8 мксек и 10 мксек) радиоимпульсах даны при большем увеличении (около 12×) (рис. 2, 3а, 4а)



Рис. 2. ВЧ вспышка  $\tau = 5$  мксек. Увелич. 4 х.



Рис. 2а. ВЧ вспышка  $\tau = 5$  мксек. Увелич. 12 х.



Рис. 3. ВЧ вспышка  $\tau = 8$  мксек. Увелич. 4 х.

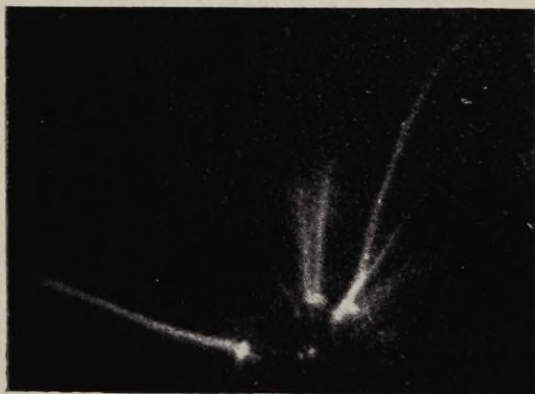


Рис. 3а. ВЧ вспышка  $\tau = 8$  мксек. Увелич. 12 х



Рис. 4. ВЧ вспышка  $\tau = 10$  мксек. Увелич. 4 х

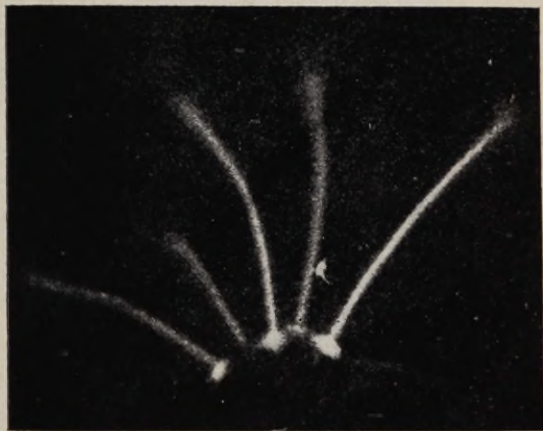


Рис. 4а. ВЧ вспышка  $\tau = 10$  мксек. Увелич. 12 х.



Р и с. 5. ВЧ вспышка  $\tau=15$  мксек.  
Увелич. 4 х.



Р и с. 6. ВЧ вспышка  $\tau=20$  мксек.  
Увелич. 4 х.



Р и с. 7. ВЧ вспышка  $\tau=100$  мксек.  
Увелич. 4 х.



Р и с. 8. ВЧ вспышка  $\tau=1$  мсек, Увелич. 4 х.



Р и с. 9. ВЧ вспышка  $\tau=5$  мсек, Увелич. 4 х.



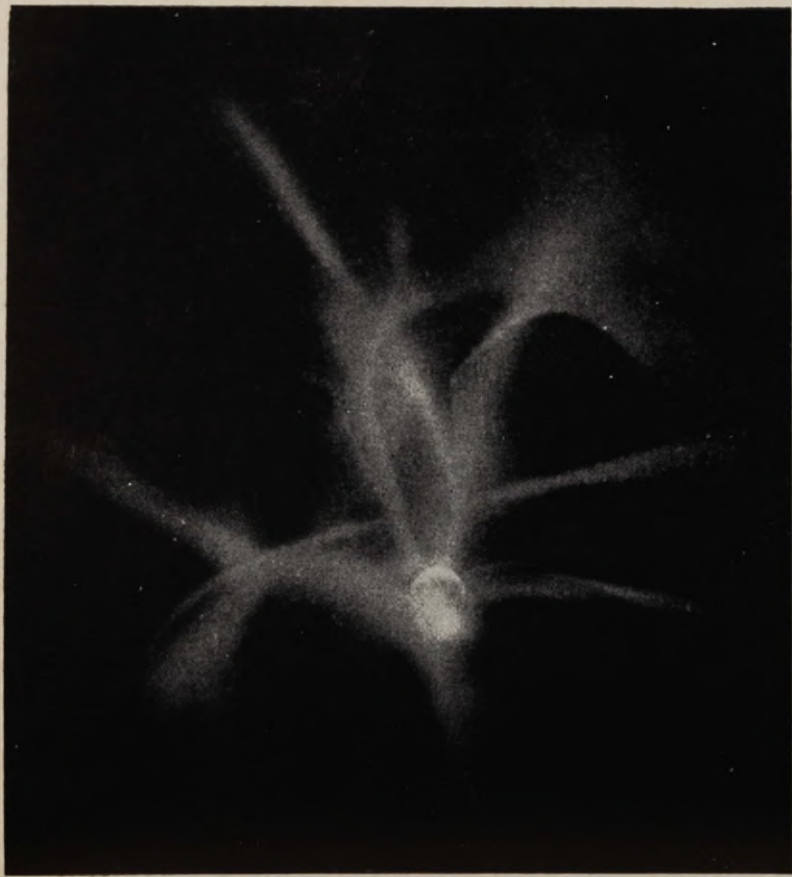


Рис. 10. ВЧ вспышка  $\tau=10$  мсек. Увелич. 4 х.



Рис. 11. ВЧ вспышка  $\tau=50$  мсек. Увелич. 4 х.

При длительности радиоимпульса  $\tau=5$  мксек разряд представлял собой тонкие, снизу слегка утолщенные нитевидные каналы (рис. 2а), которые распространялись вверх перпендикулярно к поверхности острия. Около поверхности острия наблюдались слабо светящиеся, туманные образования, а у основания каналов относительно сильно светящиеся пятна, которые являются, по всей видимости, зародышами электродного пятна. Цвет каналов, а также остальных образований был бледно-голубой.

При  $\tau=8$  мксек (рис. 3а) наблюдается уже значительное развитие отдельных каналов и в некоторых случаях даже разветвление. На основании каждого канала отчетливо видно электродное пятно, яркость которого значительно больше остальных частей вспышки. Несмотря на значительное удлинение каналов вспышки, заметного увеличения их числа не происходит, а первоначально возникшие зародыши каналов (слабые туманные образования на рис. 2а) не развиваются дальше и исчезают.

Интересно также отметить, что при  $\tau=5$  мксек боковых каналов не наблюдалось, хотя и тут уже было заметно веерообразное расхождение концов каналов.

При длительности импульса  $\tau=10$  мксек (рис. 4а) наблюдалось заметное усиление яркости стволов каналов и приэлектродного пятна. Очертания каналов становились четче; туманные, расплывчатые образования у электродов исчезли. Развитие в длину отдельных каналов было почти одинаковым. Однако тут появилась одна существенная деталь. Если ранее концы каналов были заостренными, резкими, то теперь на концах каналов, обращенных вверх от острия, образовались слабо светящиеся расширения, в которых наблюдаются еле заметные разветвления каналов.

При длительности ВЧ вспышки  $\tau=15$  мксек (рис. 5) появляются боковые каналы, направление которых перпендикулярно оси острия. Боковые каналы значительно длиннее вертикальных.

С увеличением длительности импульсов до  $\tau=20$  мксек (рис. 6) происходит заметное увеличение яркости каналов, которые теперь становятся сине-фиолетовыми. Ярче становятся также приэлектродные пятна, приобретая почти белый (с голубоватым оттенком) цвет. При этих условиях голубоватые расширения на концах, обращенных вверх каналов, становятся хорошо видными невооруженным глазом; в них также отчетливо просматриваются контрастные начала разветвлений каналов.

Почти каждой вспышке соответствует появление боковых (одного или нескольких) каналов. Интересно, что на концах боковых каналов расширений нет, нет также разветвлений. Длина этих каналов возрастает до 10—15 мм, их концы часто загибаются вниз.

При длительности импульса  $\tau=100$  мксек (рис. 7) происходит дальнейшее увеличение интенсивности каналов. Боковые каналы удлиняются значительно (до 2 раз), в то время как верти-

кальные каналы лишь на 10—20%. Однако теперь на месте первоначальных расширений видны интенсивные разветвления каналов, окруженные голубоватым ореолом. Цвет каналов становится красноватым, значительно увеличивается размер и интенсивность электродных пятен, которые по-прежнему голубовато-белые. Начинает просматриваться темное пространство между электродным пятном и основанием канала.

При  $\tau = 200$  мксек во вспышке видны каналы двух типов: одни длинные мало разветвленные, другие короче и более разветвлены. Длинные каналы более широкие с нечеткими расплывчатыми краями. В середине каналов просматривается более яркое ядро, которое при  $\tau = 500$  мксек становится еще более ярким и легче наблюдаемым. Окружающая ядро канала диффузная относительно слабо светящаяся область имеет фиолетовую окраску.

С увеличением длительности радиоимпульса до 1 мсек (рис. 7) вокруг острия на расстоянии  $1 \div 1,5$  мм каналы вспышки окрашиваются в оранжевый цвет. Толщина каналов у основания примерно  $\frac{1}{3}d$ , дальше каналы утончаются до  $\frac{1}{4} - \frac{1}{5}d$ . Интересно появление в некоторых вспышках ярких образований, похожих на капли (рис. 8 справа), на концах относительно более толстых и интенсивных каналов. Из этих образований выходит под разными углами одно или более ответвлений, значительно более слабых, чем первоначальный канал. «Капли» наблюдались на расстояниях не более  $2-3d$  от острия (примерно таким же было расстояние до расширений). Похожие на «капли» образования можно видеть также на рис. 7 (слева, около острия) и на рис. 9 (справа на расстоянии около  $2d$  от острия). «Капель» не наблюдалось в ВЧ вспышках короче 50 мксек.

На рис. 9 видна вспышка при  $\tau = 5$  мсек. Как видно из фотографии, происходит дальнейшее размывание границ каналов, из них начинают появляться диффузные выбросы. Почти все острие покрыто электродным пятном. Вокруг электродного пятна оранжево-желтое зарево, которое простирается на большое расстояние. Яркость вспышки выросла настолько, что при наблюдении через телескопическую лупу ослепляет, что делает трудным наблюдение ее деталей визуально.

При  $\tau = 10$  мсек (рис. 10) \* происходит дальнейшее стирание граней каналов, причем диффузные части отдельных каналов перекрываются, образуя над острием почти сплошное светящееся облако. Хотя пока это облако неправильной, случайной формы, в нем все-таки угадываются линии ядер бывших каналов. Однако

---

\* Для более детального выделения внутренней структуры вспышки фото на рис. 10 и 11 имеют меньшую контрастность, чем остальные фотографии. Вследствие этого на рис. 10 и 11 почти не виден общий, слабо светящийся фон в окрестности вспышки, т. е. в действительности диффузные образования вспышки простираются в разрядное пространство на несколько большее расстояние, чем это видно на фотографиях.



при  $\tau = 50$  мсек (рис. 11) уже образуется язычек факела правильной овальной формы; и, хотя по краям его все еще видны отдельные каналы, центральная часть образует над острием сплошное однородное светящееся облако плазмы. При этом вся верхняя и часть боковой поверхности острия покрыты ярким электродным пятном.

Влияние увеличения амплитуды ВЧ импульсов выражается в том, что при больших амплитудах наблюдаются при той же длительности радиоимпульса более поздние стадии развития ВЧ вспышки. Так форма вспышки при  $\tau = 10$  мсек и  $U_{\text{н}} = 10$  кв была похожа на вспышку при  $\tau = 20$  мсек и  $U_{\text{н}} = 7$  кв. Одновременно происходило увеличение размеров и яркости вспышки. Особенно сильно сказывается влияние перенапряжения (по отношению к пороговому) при очень коротких импульсах ( $\tau = 5 - 10$  мсек). При этих длинах импульсов не каждый ВЧ радиоимпульс сопровождался ВЧ вспышкой. Перенапряжение сильно увеличивало количество возникающих вспышек.

Однако при увеличении длительности радиоимпульса ( $\tau$  порядка миллисекунд) вспышки при повышенном напряжении по своей фазе развития мало отличались от таковых при более низких напряжениях, хотя были более интенсивными и больше по размерам. Образование факела, так же как и при напряжении 7 кв, происходило при длительностях импульсов порядка нескольких десятков миллисекунд.

## Выводы

1. Не было отмечено зависимости порогового напряжения ВЧ вспышки от длительности возбуждающего вспышку радиоимпульса.
2. Развитие ВЧ вспышки начинается из приэлектродной области с появлением тонких слабосветящихся каналов, которые усиливаются, удлиняются и разветвляются с увеличением длительности ВЧ радиоимпульса.
3. Переход из ВЧ вспышки в факельный разряд происходит постепенно с увеличением длительности ВЧ радиоимпульса посредством образования диффузных оболочек вокруг каналов ВЧ вспышек и последующего их объединения в пламя факела. Образование факела при условиях данной работы наблюдалось при длительностях ВЧ радиоимпульсов порядка нескольких десятков миллисекунд.
4. При постоянной длительности радиоимпульса фаза развития ВЧ вспышки зависит от амплитуды ВЧ радиоимпульса.

## ЛИТЕРАТУРА

1. К. Куду, О начальных стадиях разряда с острия в воздухе. Тарту, 1960.
2. А. А. Кузовников, Исследование ВЧ разряда в диапазоне от 1,5 до 15 Мгц. Автореферат, М., МГУ. 1955.

Поступила 5/VIII 1968 г.

## KÕRGSAGEDUSLIKUST (KS) IMPULSSLAHENDUSEST ÕHUS TERAVIK-PLAAT LAHENDUSVAHEMIKUS

V. Veimer, K. Kudu

### Resümee

Uuriti kõrgsageduslahendust õhus teravik-plaat lahendusvahe-  
mikus, mis oli ergutatud 20 MHz kandevasagedusega raadioimpuls-  
sidega kestusega 5—50000  $\mu$ S.

Saadi kõrgsagedussälvatuse erinevate arengufaaside fotod.  
Uuriti KS-sälvatuse sõltuvust raadioimpulsi amplituudist impulsi  
konstantsel kestusel. Amplituudi suurendamine mõjutab KS-sälv-  
vatuse arengut, kiirendades hilisemate faaside saamist lühematel  
KS-raadioimpulsside pikkustel.

## HF IMPULSE DISCHARGE IN OPEN-AIR POINT-TO-PLANE DISCHARGE GAP

V. Veimer, K. Kudu

### Summary

The authors studied the hf discharge in an open-air point-to-  
plane discharge gap. The voltage of 20 m.c. was modulated by a  
rectangular wave with the duration of 5 to 50 000 microseconds. In  
this way it was possible to cut off the discharge in different phases  
of development. The photos of those phases are herewith presented.  
When the voltage was increased the later phases of discharge  
could develop during the shorter impulses.

## ОБ УСЛОВИЯХ ВОЗНИКНОВЕНИЯ СТРИМЕРОВ ПОЛОЖИТЕЛЬНОЙ КОРОНЫ

К. Ф. Куду, В. А. Веймер

Типичная последовательность форм разряда в асимметричном разрядном промежутке в воздухе в лабораторных условиях с увеличением приложенного к электродам постоянного напряжения следующая: (электронные лавины) вспыхивающие импульсы — предначальные стримеры — непрерывная вспыхивающая корона — предпробойные стримеры — искровой пробой. Очевидно, здесь предполагают, что положительный потенциал имеет электрод с большой кривизной. Вероятность возникновения и интервалы напряжения существования названных форм разряда зависят от геометрии разрядного промежутка, от давления и влажности воздуха, от наличия примесей посторонних газов в воздухе, а

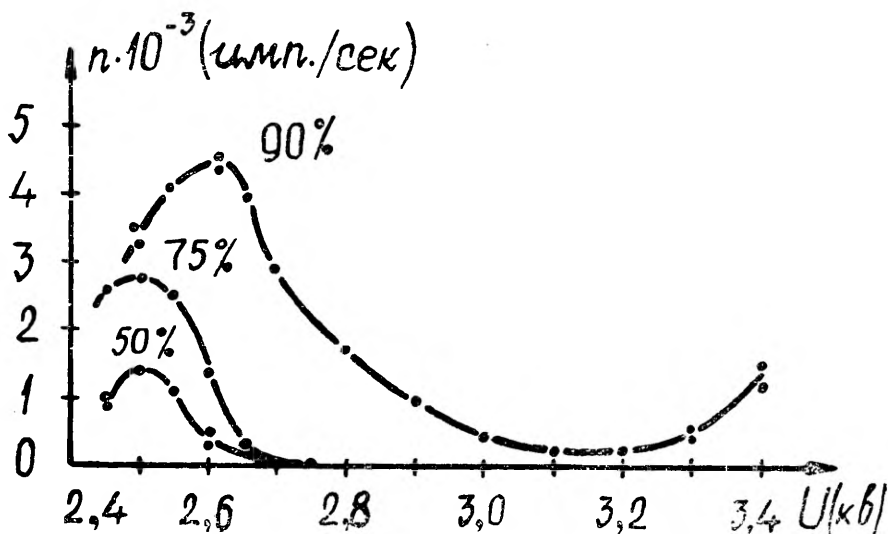


Рис. 1. Зависимость числа стримеров в единицу времени от напряжения при различной относительной влажности воздуха.

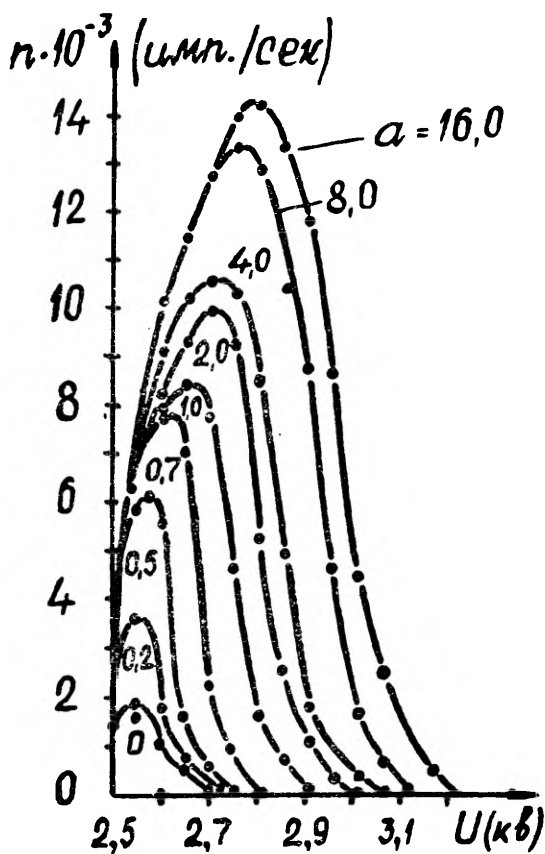


Рис. 2. Зависимость числа стримеров в единицу времени от напряжения при различной концентрации хлора в воздухе, концентрация  $C = a \cdot 10^{-3} \%$ .

также от степени начальной ионизации [1]. На рис. 1 приведена зависимость числа стримеров в единицу времени от напряжения при различной влажности воздуха. На рис. 2 изображена такая же зависимость при разных концентрациях хлора в воздухе [2].

Можно подобрать такую геометрию разрядного промежутка, при которой визуально наблюдаемые вспышечные импульсы отсутствуют, разряд начинается с появления коронных стримеров, величина и частота возникновения которых с увеличением напряжения возрастают, пока они не достигают противостоящего электрода и обуславливают искровой пробой [1, 3]. В случае другой геометрии, при прочих равных условиях, не обязательно возникают предначальные стримеры. С увеличением напряжения вспышечные импульсы заменяются непрерывной вспышечной короной, за которой следуют предпробойные стримеры и пробой.

Если длина разрядного промежутка настолько мала, что предначальные стримеры достигают уже противостоящего электрода,

то возникает пробой. Напряжение, при котором этот пробой — пробой I — наблюдается, соответствует интервалу напряжений возникновения предначальных стримеров. Выше этого интервала напряжений обычно имеет место непрерывная вспышечная корона, за которой при более высоких напряжениях следуют предпробойные стримеры и пробой — пробой II. Надо отметить, что в последнем случае уже первый предпробойный стример обуславливает пробой II. В зависимости от геометрии разрядного промежутка, интервал напряжений существования непрерывной вспышечной короны может быть весьма узким и даже отсутствовать. Чем однороднее электрическое поле, тем уже интервал напряжений существования непрерывной вспышечной короны. Таким образом, электрический пробой асимметричного разрядного промежутка при положительной полярности на электроде с большей кривизной может иметь место при весьма низких — пороговых — напряжениях коронных импульсов и при напряжениях, значительно превышающих величину этого напряжения. Следовательно, попав в область непрерывной вспышечной короны, можно достичь пробоя двумя способами — либо с увеличением, либо с понижением напряжения. Впервые названные два типа пробоя наблюдал, по-видимому, Улман [4]. Вновь они были обнаружены Сиксна [5], и, по-видимому, независимо от него Хермштейном [6]. Весьма много уделяли этому явлению внимания Богданова и Попков [7, 8] и др. При работе с напряжением высокой частоты подобные эффекты отметил один из авторов данной статьи [1] и Раскэн [9, 10].

Настоящая работа была предпринята для того, чтобы более детально выяснить условия возникновения коронных стримеров, как предначальных, так и предпробойных. Особое внимание было обращено на зависимость частоты возникновения предначальных стримеров от величины начальной ионизации.

### Экспериментальная установка

Исследования проводились в коаксиально-цилиндрическом разрядном промежутке (рис. 3), где коронирующим электродом являлась платиновая проволока с полусферически обработанным концом. Как диаметр проволоки (1), так и диаметр кривизны ее вершины имели величину в 1 мм. Проволока находилась на оси внешнего алюминиевого цилиндра (4) с длиной 450 мм и диаметром 75 мм. Коронирующее острие внутреннего электрода находилось на расстоянии порядка 150 мм от открытого конца внешнего цилиндра. Неоднородность электрического поля вблизи острия можно было изменять перемещением платиновой проволоки внутри посаженного на нее полого шара (2) с отверстием, который был неподвижно прикреплен к изолятору (6) при помо-

щи медной трубки. Диаметр шара 8 мм. Расстояние острия от поверхности шара можно было изменять от 0 до 20 мм. Оно измерялось при помощи микрометрического винта (3). В изоляторе (6) находились каналы, через которые из разрядного промежутка отсасывался воздух с продуктами разряда. Скорость потока воздуха в разрядном промежутке можно было изменять от  $0,25 \div 1,5$  м/сек.

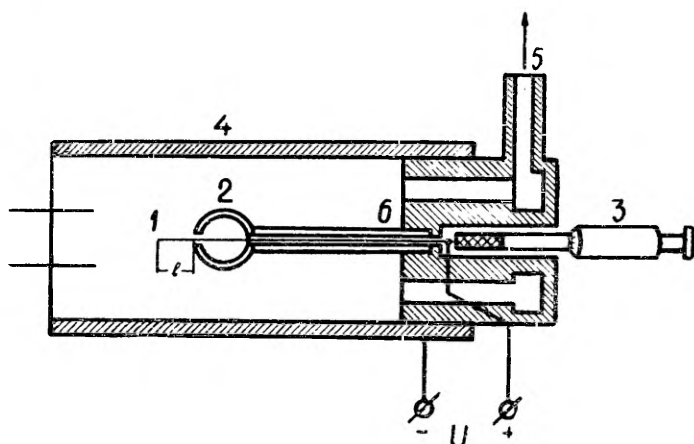


Рис. 3. Разрез разрядного промежутка.

- 1 — Платиновая проволока с закругленным концом  
(l — длина выступающей части проволоки).
- 2 — Полный латунный шар.
- 3 — Микровинт.
- 4 — Внешний полый цилиндр из алюминия.
- 5 — Патрубок для отсоса воздуха.
- 6 — Изолятор.

Разрядный промежуток питался напряжением от источника высокого напряжения ВС-222 фирмы «Tesla». Выходное напряжение последнего было плавно регулируемо в пределах от 0 до 50 кв. Вследствие малого постоянства этого напряжения для повышения точности измерений был сконструирован высоковольтный стабилизатор. Он позволял получить на выходе плавно изменяемое напряжение в пределах  $400 \div 16000$  в при токах нагрузки  $0 \div 1,5$  ма. Напряжение измерялось компенсационным методом при помощи потенциометра ПП-63 и делителя напряжения на сопротивлениях МВСГ (0,03%) Точность измерения напряжения была не хуже 0,1%. Стабильность работы стабилизатора во всем диапазоне токов и напряжений была не меньше 0,025%, пульсация не превышала 100 мв.

Блок-схема стабилизатора приведена на рис. 4. Стабилизатор состоял из управляющих ламп ( $2 \times 6$  С 20 С), усилителя постоян-

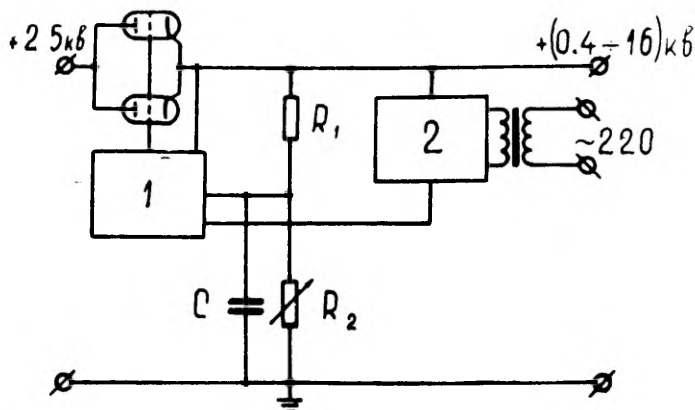


Рис. 4. Принципиальная схема высоковольтного стабилизатора напряжения.

- 1 — Усилитель постоянного тока.  
2 — Источник опорного напряжения.

ного напряжения (1), источника опорного напряжения (2) и высоковольтного делителя напряжения  $R_1R_2$ . Усилитель постоянного напряжения был двухкаскадным с суммарным коэффициентом усиления около 800. Выходное напряжение источника опорного напряжения было около 400 в со стабильностью не хуже 0,01%. Делитель напряжения  $R_1R_2$  позволял изменять выходное напряжение ступенчато и в пределах ступени плавно с точностью установки до 1 вольта. Накал управляющих ламп и напряжение анодного питания источника опорного напряжения подавались через трансформатор специальной конструкции, вторичные обмотки которого находились в герметической плексигласовой коробке и были пропитаны парафином в вакууме.

Число элементарных зарядов в единице объема воздуха непосредственно около открытого конца внешнего цилиндра определялось счетчиком ионов САИ-ТГУ-65М. Начальную ионизацию изменяли  $\beta$ -активным препаратом.

Стримеры подсчитывались счетчиком ПС-10000. Импульсы тока снимались с резистора с сопротивлением в 1 Мом, который был подключен между внешним цилиндром и «землей». С этого же сопротивления снимался импульс тока на вход осциллографа С1 — 35. Блок-схема установки приведена на рис. 5.

## Результаты измерений

Определялась зависимость пороговых напряжений предначальных и предпробойных стримеров и непрерывной вспышечной короны при различной геометрии разрядного промежутка, а так-

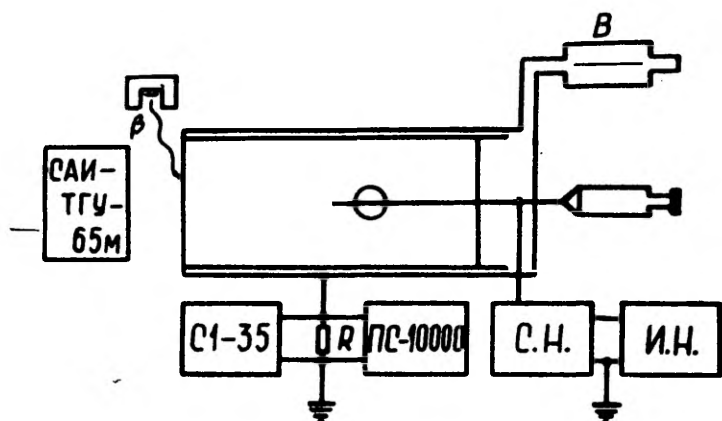


Рис. 5. Блок-схема установки. С1-35 — осциллоскоп для наблюдения формы импульсов тока, снимаемых с сопротивления  $R$ . ПС-10000 — пересчетное устройство, С.Н. — стабилизатор постоянного напряжения, И.Н. — источник высокого напряжения, САИ-ТГУ-65М — счетчик аэроионов,  $\beta$  — радиоактивный препарат, В — вентилятор.

же зависимость числа предначальных и предпробойных стримеров в единицу времени от напряжения между электродами. Соответствующие графики представлены на рис. 6, 7 и 8.

На рис. 6 показана зависимость пороговых напряжений предначальных и предпробойных стримеров, непрерывной вспышечной короны, а также пробоя от степени неоднородности электрического поля, то есть от длины  $l$  выступающей из шара платиновой проволоки. Кривая А соответствует порогу предначальных стримеров, кривая Б — порогу непрерывной вспышечной короны, В — порогу предпробойных стримеров и кривая Г — пробую. Надо отметить, что пороговые напряжения предпробойных стримеров и пробоя имеют сильный разброс, особенно при больших неоднородностях поля. Видно, что при уменьшении  $l$  ширина интервала напряжений существования непрерывной короны сужается. При  $l \leq 0,8$  мм названная форма разряда вообще невозможна. В этом случае интервалу напряжений возникновения предначальных стримеров следует непосредственно интервал возникновения предпробойных стримеров. С уменьшением  $l$  длина и яркость стримеров стали больше.

Зависимость числа стримеров от перенапряжения  $\Delta U$  по отношению к пороговому напряжению предначальных стримеров при разной длине  $l$  острия показана на рис. 7. Цифры у кривых соответствуют вертикальным сечениям на рис. 6. Из рис. 7 особенно хорошо видно, что с уменьшением неоднородности поля интервал



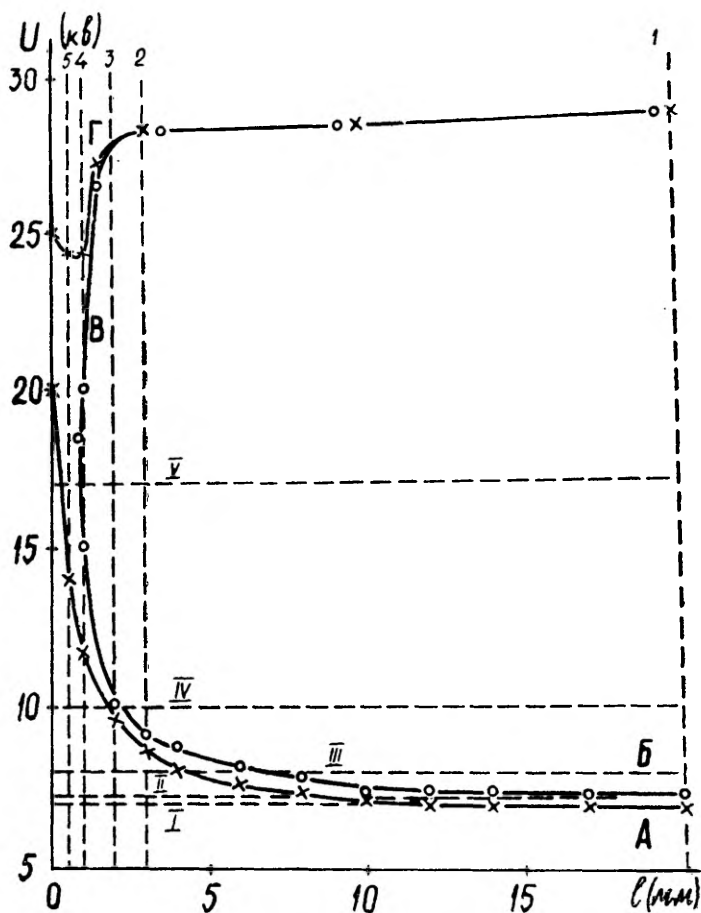


Рис. 6. Зависимость пороговых напряжений предначальных стримеров (А), непрерывной вспышечной короны (Б), предпробойных стримеров (В) и напряжения пробоя (Г) от длины  $l$  выступающей части острия.

напряжений возникновения предначальных стримеров и вероятность их возникновения увеличиваются. В случае кривой 7 область предначальных стримеров различима от области предпробойных стримеров только по минимуму на кривой.

На рис. 8 показана зависимость числа стримеров от неоднородности поля при различных напряжениях на электродах. По оси абсцисс отложено приращение длины острия  $\Delta l$ , начиная от длины, соответствующей порогу предначальных стримеров. Римские цифры у кривых соответствуют горизонтальным сечениям на рис. 6.

Рис. 7. Зависимость числа стримеров в единицу времени от перенапряжения по отношению к пороговому при различной геометрии разрядного промежутка. 1 —  $l=20$  мм, 2 —  $l=3$  мм, 3 —  $l=2$  мм, 4 —  $l=1$  мм, 5 —  $l=0,5$  мм.

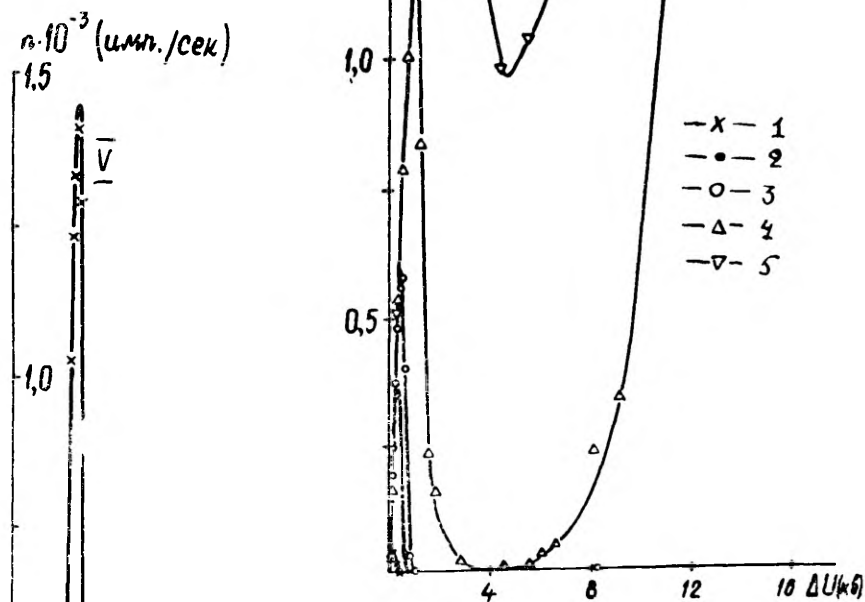


Рис. 8. Зависимость числа стримеров в единицу времени от длины острия, приведенной к пороговой длине при различных напряжениях: I —  $U=7,0$  кВ; II —  $U=7,25$  кВ; III —  $U=8,0$  кВ; IV —  $U=10$  кВ; V —  $U=17$  кВ.

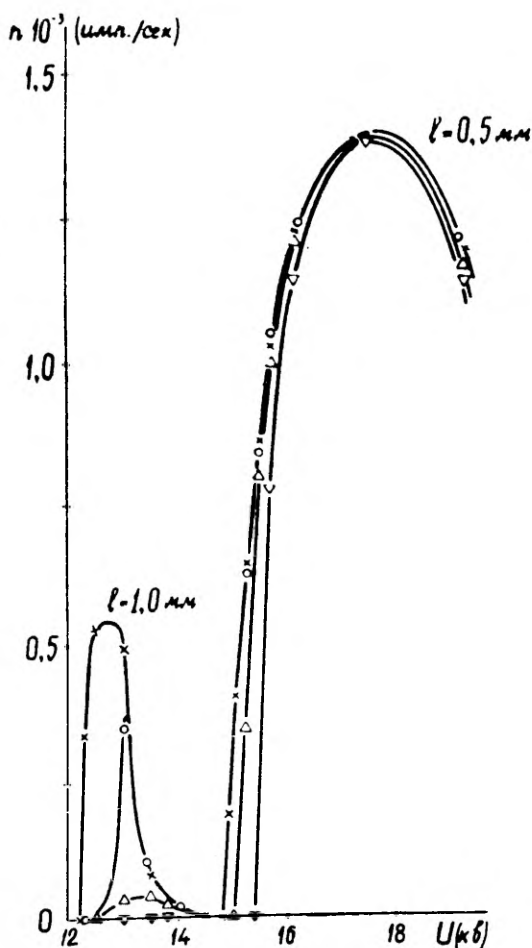
Рис. 9. Зависимость числа стримеров в единицу времени от напряжения при различных начальных ионизациях воздуха для двух геометрий разрядного промежутка. Число отрицательных ионов было для случая

$x - 0,8 \cdot 10^4 \frac{\text{ионов}}{\text{см}^3}$ ;  $o -$

$2,5 \cdot 10^4 \frac{\text{ионов}}{\text{см}^3}$ ;  $\Delta - 7,5 \cdot 10^4$

$\frac{\text{ионов}}{\text{см}^3} - 22 \cdot 10^4 \frac{\text{ионов}}{\text{см}^3}$  Во

всех случаях число положительных ионов было примерно на 20% выше.



На рис. 9 приведена зависимость числа предначальных стримеров от приложенного к разрядному промежутку напряжения для двух значений  $l$  при различных начальных ионизациях воздуха. Из рис. 9 видно, что при достаточной неоднородности поля вблизи коронирующего электрода наблюдается очень сильная зависимость частоты возникновения предначальных стримеров от концентрации ионов. При больших значениях  $l$  (т. е. при большей неоднородности) эта зависимость была еще сильнее — уже незначительное увеличение концентрации ионов приводило к прекращению возникновения предначальных стримеров. Частота возникновения вспыхивающих импульсов с увеличением концентрации ионов возрастала. Мы имеем в данном случае переход вспыхивающих импульсов с увеличением напряжения в непрерывную

вспышечную корону без существования промежуточного интервала напряжений возникновения предначальных стримеров.

При уменьшении степени неоднородности поля вблизи острия начальная ионизация не так сильно влияет на частоту возникновения предначальных стримеров, хотя виден весьма значительный сдвиг порога возникновения предначальных стримеров в сторону более высоких напряжений.

Все приведенные зависимости были сняты при скорости потока воздуха в разрядном промежутке 0,5 м/сек и при относительной влажности, равной примерно 60%.

Была замечена весьма сильная зависимость максимальной частоты возникновения предначальных стримеров от скорости потока воздуха через разрядный промежуток.

### Выводы

Из вышеприведенного можно заключить следующее.

1. Пороговое напряжение коронного разряда зависит от длины острия, примерно так же, как в работе [10].

Ширина интервалов напряжений возникновения разных форм разряда зависит весьма сильно от степени неоднородности электрического поля вблизи острия. Чем однороднее поле, тем шире интервал напряжений возникновения предначальных стримеров и уже область существования непрерывной вспышечной короны. Начиная с определенной степени неоднородности в сторону более однородных полей непрерывная вспышечная корона не возникает, и за областью возникновения предначальных стримеров с увеличением напряжения следует непосредственно область возникновения предпробойных стримеров.

2. Из области возникновения вспышечных импульсов можно перейти в область существования непрерывной вспышечной короны сквозь область возникновения предначальных стримеров двумя способами — увеличивая при определенной длине острия приложенное к разрядному промежутку напряжение или изменяя при фиксированном напряжении расположение вершины острия относительно надетого на острие шара.

3. Вероятность возникновения предначальных стримеров в области их существования больше при более однородных полях. В это же время больше их длина и яркость.

4. Вероятность возникновения предначальных стримеров зависит сильно от величины начальной ионизации. Эта зависимость тем сильнее, чем неоднороднее поле вблизи острия. При  $l > 5$  мм уже двух-трехкратное увеличение начальной ионизации над обычной вызывало полное подавление стримеров.

В случае более однородных полей порог предначальных стримеров с увеличением начальной ионизации повышается. Одновре-

менно наблюдается сдвиг максимальной частоты возникновения предначальных стримеров в сторону более высоких напряжений.

5. Вероятность возникновения предначальных стримеров зависит от скорости потока воздуха.

В настоящее время отсутствует единая точка зрения относительно механизма подавления предначальных стримеров во всех вышеизложенных случаях [11]. До появления работ Хермштейна причиной этого считали пространственный заряд положительных ионов от предыдущих стримеров и вспыхивающих импульсов, понижающий напряженность поля вблизи острия настолько, что возможно образование только вспыхивающих импульсов [12]. Хермштейн предлагает в качестве такого фактора пространственный заряд отрицательных ионов [6]. Следует, однако, отметить, что прямого экспериментального подтверждения не имеет пока ни первое, ни второе предположение.

Активное участие принимали при выполнении представленной работы студенты физического отделения ТГУ Х. Тайм и А. Райдару.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Куду, К. Ф., О начальных стадиях разряда с острия в воздухе. Тарту, 1960.
2. Vaska, M., Positiivse koroona striimerid haloidide indikaatorina. Дипломная работа, Тарту, ТГУ, 1960.
3. Bogdanova, N. B., Popkov, V. I., Some Characteristics of Flare Discharge in Atmospheric Air. VIII Int. Conference on Phenomena in Ionized Gases, Vienna, 1967, p. 214.
4. Uhlman, E., Der elektrische Durchschlag von Luft zwischen konzentrischen Zylindern. Arch. f. Elektrotechn., 1929, 23.
5. Siksna, R., Two different breakdowns between a positive electrode with small curvature and a plane. Ark. Fys., 1955, 9, nr. 6, 77.
6. Hermstein, W., Die Stromfaden-Entladung und ihr Übergang in das Glimmen und die Entwicklung der positiven Vorentladungen in Luft zum Durchschlag. Arch. f. Elektrotechn., 1960, 45, 209, 279.
7. Богданова Н. Б., К вопросу о влиянии предразрядных явлений на пробивание напряжения разрядных промежутков. «Пробой диэлектриков и полупроводников». Сб. докладов IV межвузовской конференции по пробое диэлектриков и полупроводников, «Энергия», 1964, 49.
8. Богданова Н. Б., Попков В. И., Вопросы управления формой коронного разряда на электроде и пробивным напряжением воздушного промежутка. Изв. АН СССР Энергетика и транспорт, 1966, 3, 82.
9. Rasquin, W., Das Durchschlagverhalten von Luft unter der Einwirkung eines inhomogenen elektrischen Gleichfeldes mit überlagertem Wechselfeld. Zeit. ang. Phys., 1965, 19, 5, S. 460.
10. Орлов Н. Н., К вопросу о коронном разряде в промежутке острие-плоскость. Изв. ВУЗ-ов.
11. Loeb, L. B., Electrical Coronas, 1965.
12. Amin, M. R., Fast Time Analysis of Intermittent Point-to-Plane Corona in Air. J. Appl. Phys., 1954, 25, 210, 358.

Поступила 5/VIII 1968 г.

# POSITIIVSE KOROONA ILMUMISTINGIMUSTEST

K. Kudu, V. Veimer

## Resümee

Koaksiaalsilindrilises lahendusvahemikus uuriti siseelektroodi nihutatava metallkera mõju koroona algstriimerite, pideva koroona, läbilöögieelsete striimerite lävepingele, lahendusvahemiku läbilöögipingele ja striimerite ilmutumissagedusele. Kasutati kohapeal valmistatud kõrge stabiilsusega pingeaallikat.

Leiti, et positiivse koroona lävepinge sõltub kera asendist siseelektroodi koroneeriva tipu suhtes nagu töös [9]. Algstriimerite ja pideva koroona pingete intervall sõltub tugevasti kera asendist. Mida lähemal koroneeriva elektroodi tipule asetseb kera, s. t. mida homogeensem on elektriväli, seda laiem on algstriimerite pingete intervall ja kitsam pingete intervall pideva koroona esinemiseks. Alates kera teatud asendist, ei ole pidev koroona võimalik ning algstriimeritele järgnevad vahetult läbilöögile eelnevad striimerid.

Koroonapursete piirkonnast võib sattuda pideva koroona piirkonda läbi algstriimerite esinemispiirkonna kahel viisil: suurendades kera antud asendi juures elektrodidevahelist pinget või muutes antud pingel kera asendit koroneerival elektroodil.

Elektrivälja homogeensuse suurendamine toob kaasa algstriimerite ilmutumise tõenäosuse suurenemise. Tugevasti sõltub algstriimerite ilmutumise tõenäosus algionisatsioonist: mida kaugemal on kera elektroodi tipust, seda tugevam on algionisatsiooni mõju. Alates kera teatud asendist muudab algionisatsiooni kahe-kolmekordne suurenemine üle loomuliku taseme algstriimerite ilmutumise tõenäosuse nulliks. Enamhomogeensete elektriväljade juures tõstis algionisatsiooni suurenemine algstriimerite lävepinget. Samal ajal nihkus nende ilmutumissageduse maksimum kõrgemate pingete suunas.

## ON CONDITIONS OF THE POSITIVE CORONA STREAMER APPEARANCE

K. Kudu, V. Veimer

## Summary

The authors examined the effect of a metal sphere inserted into the internal electrode of a coaxial-cylinder discharge gap (Fig. 1) on the threshold potential of pre-onset streamers, burst-pulse steady corona, pre-breakdown streamers, breakdown of the discharge gap and on the number of streamers per second.

The threshold potential of positive corona was found to depend on the distance between the tip of the point electrode and the sphere

as discussed in [9]. The voltage intervals where pre-onset streamers or steady corona occur were also found to be considerably affected by the position of the sphere. When the sphere was nearer the tip of the point electrode, the voltage interval for pre-onset streamers became wider and that for steady corona narrower. If the distance between the electrode tip and the sphere was too small, there was no steady corona between pre-onset and pre-break-down streamers.

From the region of burst pulses it was possible to get into the region of steady corona not only by increasing the voltage between the electrodes but also, at a constant voltage, by increasing the distance between the tip of the point electrode and the sphere.

If the sphere was closer to the electrode tip, the probability for pre-onset streamer appearance became greater. The probability of pre-onset streamer appearance was also affected by the intensity of ionisation in the discharge gap: the farther the sphere was situated from the electrode tip the stronger was the effect of ionisation. In some positions of the sphere when the increase of the ionisation rate was twice or thrice the natural value, the probability of streamer appearance was reduced to zero.

If the sphere was closer to the electrode tip, the increase of the ionisation rate raised the threshold potential of the pre-onset streamers. At the same time, the maximum number of streamers per second was shifted to higher voltages.

## ТЕОРИЯ ПРОСТЕЙШЕЙ МОДЕЛИ ПЛОСКОГО НЕЙТРАЛИЗАТОРА СТАТИЧЕСКОГО ЭЛЕКТРИЧЕСТВА

Х. Ф. Таммет

1. Модель нейтрализатора. Аналитическое решение уравнений, описывающих движение аэроионов в каком-нибудь конкретном нейтрализаторе статического электричества, обычно невозможно. Для выяснения общих закономерностей целесообразно изучить идеализированную модель нейтрализатора. Ожидаемые результаты могут пригодиться и для приближенного расчета конкретных нейтрализаторов.

Устройство рассматриваемой модели поясняет рис. 1а. Эта модель соответствует следующим условиям:

а) ионизация происходит только в ограниченном слое воздуха, прилегающем к ионизатору. Координатной плоскостью  $z=0$  выбираем граничную поверхность зоны ионизации (рис. 1а);

б) в плоскостях, поперечных к оси  $z$ , все параметры однородны.

Мерой электризации нейтрализуемой поверхности принимаем напряженность электрического поля непосредственно над поверхностью  $E_z$ . Над проводящей поверхностью

$$E_z = \sigma/\epsilon_0, \quad (1)$$

где  $\sigma$  — поверхностная плотность заряда и  $\epsilon_0$  — диэлектрическая проницаемость вакуума ( $\epsilon_0 = 8,85 \text{ нф/м}$ , применяется система СИ). Относительная диэлектрическая проницаемость воздуха принята равной единице.

Влияние отступлений от изложенных условий на процесс нейтрализации целесообразно проанализировать при более конкретных задачах, которые выходят из рамок настоящей работы.

2. Уравнение нейтрализатора. Плотность тока в пространстве  $0 < z < h$  выражается

$$j = k q E, \quad (2)$$

где  $k$  — подвижность (около  $1,5 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 \text{ в}^{-1} \text{ сек}^{-1}$ ) и  $q$  — плотность объемного заряда аэроионов. Плотность тока не зависит



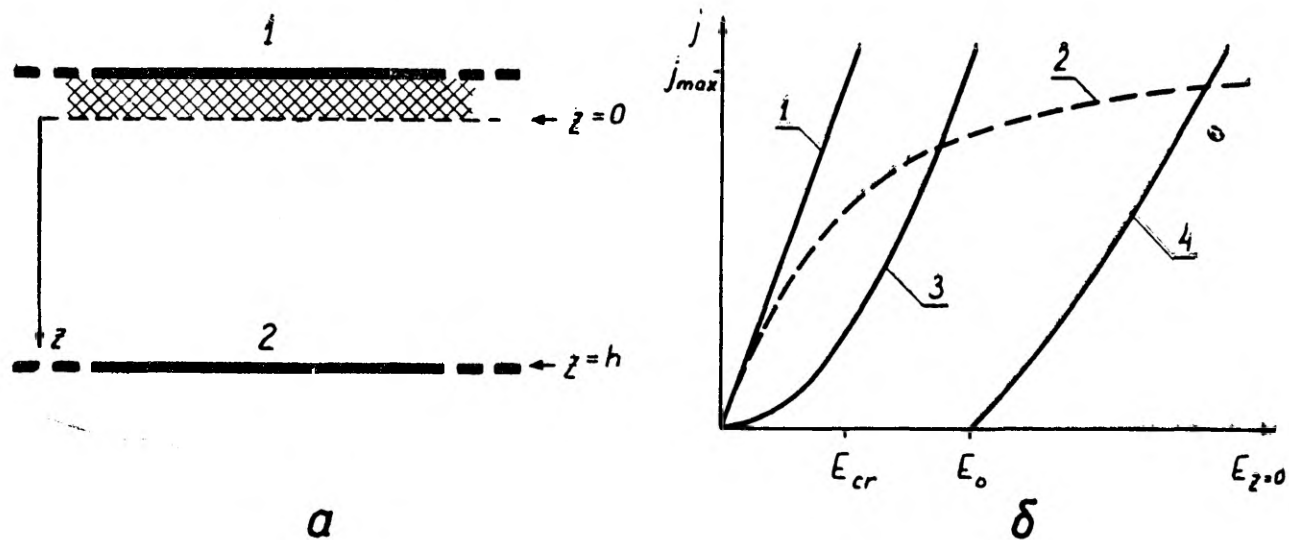


Рис. 1. а — схематизированный разрез нейтрализатора:

1 — плоский ионизатор; 2 — нейтрализуемая поверхность: заштрихованная область — зона ионизации.  
 б — характеристики ионизаторов: 1 — линейная; 2 — насыщающаяся; 3 — прогрессирующая при  $E_0=0$ ;  
 4 — прогрессирующая;  $E_{z=0}$  — напряженность электрического поля на граничной поверхности зоны ионизации;  $E_{cr}$ ,  $E_0$ ,  $j_{max}$  — постоянные ионизаторов.

от координат. Решение уравнения электростатического поля  $\text{div } \epsilon_0 \vec{E} = \rho$  при этом следующее:

$$\frac{1}{\rho^2} - \frac{1}{\rho_0^2} = \frac{2kz}{\epsilon_0 \rho}, \quad (3)$$

где  $\rho_0$  — плотность заряда на поверхности  $z=0$ . Граничное условие  $E=E_\sigma$  если  $z=h$ , приводит к уравнению плоского нейтрализатора:

$$\frac{j^2}{\rho_0^2} + 2 \frac{kh}{\epsilon_0} j - k^2 E_\sigma^2 = 0. \quad (4)$$

Высота  $h$  измеряется от границы зоны ионизации до нейтрализуемой поверхности (см. рис. 1а).

3. Идеальный нейтрализатор. Неограниченное увеличение интенсивности ионизатора привлекает переход  $\rho_0 \rightarrow \infty$ , и решение уравнения нейтрализатора приближается к предельному значению

$$j_{\text{id}} = \frac{\epsilon_0 k E_\sigma^2}{2h} \quad (5)$$

Для определения зависимости плотности тока от напряжения  $U$  между нейтрализуемой поверхностью и ионизатором надо вычислить интеграл от напряженности. Учитывая, что предположение  $\rho_0 \rightarrow \infty$  привлекает  $E_{z=0} = 0$ , получим

$$U = \frac{2}{3} h E_\sigma.$$

Дальнейшее вычисление приводит к результату

$$j_{\text{id}} = \frac{9\epsilon_0 k U^2}{8h^3} \quad (7)$$

Практический вид формул (5) и (7) следующий:

$$j_{\text{id}}/\text{ма} \cdot \text{м}^{-2} \approx \frac{2}{3} \frac{(E_\sigma/\kappa\text{в} \cdot \text{см}^{-1})^2}{h/\text{см}} \approx \frac{3}{2} \frac{(U/\kappa\text{в})^2}{(h/\text{см})^3}. \quad (8)$$

Символы с единицами в наклонных скобках обозначают здесь численные значения физических величин.

4. Коэффициент эффективности. Введем коэффициент эффективности произвольного нейтрализатора как отношение

$$\eta = \frac{\bar{j}}{j_{\text{id}}^*} = \frac{I}{S j_{\text{id}}^*}, \quad (9)$$

где  $I$  — ток нейтрализации,  $S$  — площадь, подлежащая воздействию нейтрализатором,  $j_{id}^*$  — плотность тока идеального нейтрализатора при наименьшей допустимой высоте  $h=h_0$ .

5. Характеристика ионизатора. Характеристика ионизатора  $j=j(E_{z=0})$  совпадает с характеристикой нейтрализатора при  $h=0$ . Характеристику ионизатора считаем заданной. Имеются два основных типа характеристики: насыщающаяся и прогрессирующая (рис. 16), свойственные радиоизотопным и коронным ионизаторам.

Выберем две конкретные функции:

$$j = j_{\max} \frac{E_{z=0}}{E_{cr}} \sqrt{\frac{E_{z=0}^2}{E_{cr}^2} + 4} - \frac{E_{z=0}}{E_{cr}} \quad (10)$$

(насыщающаяся характеристика) и

$$j = \begin{cases} 0 & \text{при } E_{z=0} \leq E_0 \\ A(E_{z=0}^2 - E_0^2) & \text{при } E_{z=0} \geq E_0 \end{cases} \quad (11)$$

(прогрессирующая характеристика) Напряженности  $E_{cr}$  и  $E_0$  являются постоянными ионизаторов,  $j_{\max}$  и  $A$  — свободные коэффициенты. Графики рис. 16 построены по формулам (10) и (11)

Для коронного разряда характерна абсолютно-прогрессирующая характеристика, при которой  $A=\infty$ . Идеальная характеристика получается, если принимать  $A=\infty$  и  $E_0=0$ .

Линейная характеристика

$$j \approx \lambda_0 E_{z=0} \quad (12)$$

получается из характеристики (10) при переходе  $j_{\max} \rightarrow \infty$  и  $E_{cr} \rightarrow \infty$

Формулы (10) и (11) выбраны так, чтобы уравнение нейтрализатора имело простое решение. Отступление характеристик конкретных ионизаторов от рассматриваемых имеет для общих свойств нейтрализатора второстепенное значение.

6. Эффективность плоского нейтрализатора. Исключив из уравнения характеристики ионизатора  $E$  и применив соотношение (2), удастся выразить  $q_0$ . В случае ионизатора с насыщающейся характеристикой

$$q_0 = \frac{j_{\max}}{kE_{cr}} \sqrt{1 - \frac{j}{j_{\max}}} \quad (13)$$

Решение уравнения (4) позволяет найти выражение коэффициента эффективности:

$$\eta = \vartheta_i \frac{\vartheta_j + 1 - \sqrt{(\vartheta_j - 1)^2 + 4\vartheta_E}}{2(\vartheta_j - \vartheta_E)}, \quad (14)$$

где

$$\left. \begin{aligned} \vartheta_i &= \frac{j_{\max}}{j_{id}} \\ \vartheta_E &= \frac{E_{cr}^2}{E_a^2} \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

В случае ионизатора с линейной характеристикой

$$\eta = \vartheta \frac{\sqrt{\vartheta^2 + 4} - \vartheta}{2}, \quad (16)$$

где

$$\vartheta = \frac{\lambda_0 E_a}{J_{id}} \quad (17)$$

В случае ионизатора с прогрессирующей характеристикой

$$\varrho_0 = \frac{j}{k \sqrt{E_0^2 + \frac{j}{A}}} \quad (18)$$

Уравнение (4) вырождается в линейное уравнение, решение которого приводит к результату:

$$\eta = \vartheta_A \frac{1 - \vartheta_0}{1 + \vartheta_A}, \quad (19)$$

где

$$\left. \begin{aligned} \vartheta_A &= \frac{AE_a^2}{J_{id}} = \frac{2Ah}{\varepsilon_0 k} \\ \vartheta_0 &= \frac{E_0^2}{E_a^2} \end{aligned} \right\} \quad (20)$$

В случае ионизатора с абсолютно-прогрессирующей характеристикой

$$\eta = 1 - \vartheta_0. \quad (21)$$

7. Расчет ионизатора. Сущность задачи — рациональный выбор параметров  $\vartheta$ , чтобы обеспечить одновременно удовлетворительное значение  $\eta$  и простое устройство нейтрализатора. Теоретический расчет поможет сознательно избегать излишнего увеличения мощности ионизатора, что в режиме  $\eta \approx 1$  вело бы только к бессмысленному усложнению конструкции.

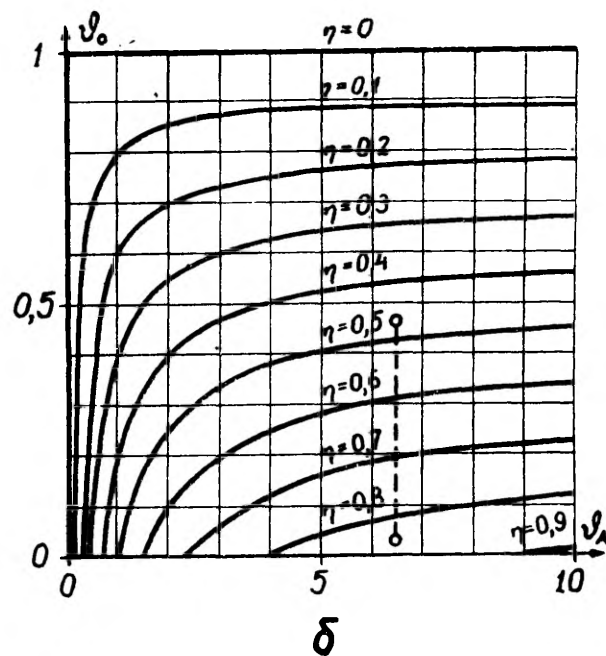
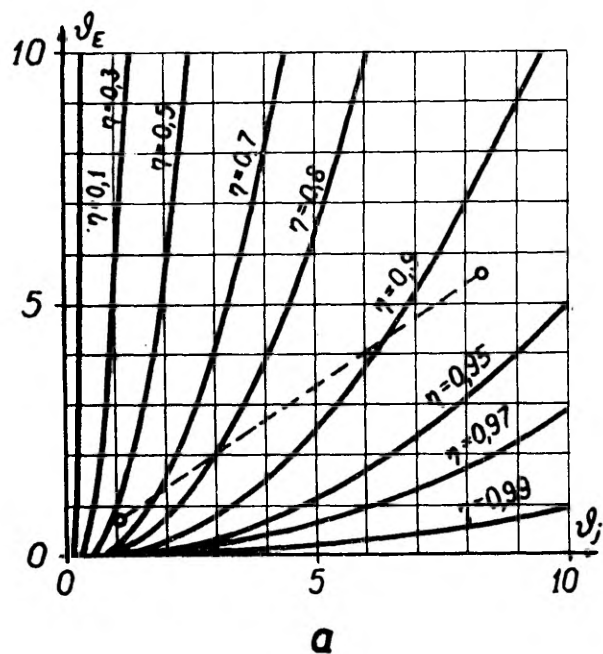


Рис. 2. Линии равной эффективности:

$a$  — для нейтрализатора с насыщающейся характеристикой ионизатора;  $b$  — для нейтрализатора с прогрессирующей характеристикой ионизатора. Штриховой линией изображены примеры линий нейтрализации.

Для обеспечения наглядности полученных результатов и для упрощения практических расчетов на рис. 2 представлены графики, построенные по формулам (14) и (19). На график следует нанести точки, соответствующие наибольшему и наименьшему значению  $E_\sigma$  и соединить эти точки прямой, которую можно называть линией нейтрализации. Линия нейтрализации показывает пределы и облегчает оценку среднего значения коэффициента  $\eta$ .

В случае прогрессирующей характеристики с  $E_0=0$  весь процесс нейтрализации происходит при постоянном значении  $\eta = \frac{\vartheta_A}{1+\vartheta_A}$ , и линия нейтрализации вырождается в точку на оси  $\vartheta_A$ .

Некоторые значения функции  $\eta = \eta(\vartheta)$  для ионизатора с линейной характеристикой:

$\vartheta$	0	0,11	0,36	0,71	1,3	1,8	2,8	4,2	5,6	9,9	$\infty$
$\eta$	0	0,1	0,3	0,5	0,7	0,8	0,9	0,95	0,97	0,99	1

8. Время нейтрализации. Время уменьшения  $E_\sigma$  от значения  $E_1$  до  $E_2$  определяется интегралом

$$t = \int_{E_\sigma=E_2}^{E_\sigma=E_1} \frac{d\sigma}{j} \quad (22)$$

В случае идеального нейтрализатора интегрирование дает:

$$t_{id} = \frac{2h}{\alpha k} \left( \frac{1}{E_2} - \frac{1}{E_1} \right), \quad (23)$$

где  $\alpha$  — среднее значение безразмерного отношения  $\epsilon_0 E_\sigma / \sigma$ . Для проводящей поверхности  $\alpha=1$ . Обычно  $E_1 \gg E_2$ , и член  $1/E_1$  можно опустить. В таком приближении практический вид формулы (23):

$$t_{id}' \text{ мсек}_l \approx \frac{4}{3} \frac{h/\text{см}}{\alpha E_2 / \kappa \vartheta \cdot \text{см}^{-1}_l}. \quad (24)$$

В общем случае

$$l = \frac{t_{id}}{\eta}, \quad (25)$$

где  $\bar{\eta}$  — средний коэффициент эффективности нейтрализатора.

По времени  $t$  и скорости движения нейтрализуемой поверхности вычисляется необходимая длина нейтрализатора вдоль нейтрализуемой поверхности.

Поступила 20/II 1968 г.

# LIHTSAIMA TASASE STAATILISTE LAENGUTE NEUTRALISAATORI MUDELI TEOORIA

H. Tammet

Resümee

Lihtsaim staatiliste laengute neutralisaatori mudel sarnaneb tasakondensaatoriga, mille üheks katteks on ionisaator, teiseks aga neutraliseeritav pind (joon. 1a)

Ionisaatori võimsuse suurendamise korral läheneb aeroioonide voo tihedus valemiga (8) kirjeldatavale piirile. Piirrežiimi nimetame ideaalse neutralisaatori režiimiks. Ideaalse neutralisaatori intensiivsust piirab ionisaatori ja neutraliseeritava pinna vaheline ruumlaeg.

Neutralisaatori efektiivsusteguriks nimetame neutralisaatori keskmise voolutiheduse ja ideaalse neutralisaatori voolutiheduse suhet. Efektiivsusteguri sõltuvust neutralisaatori parameetritest kirjeldavad vastavalt kasutatava ionisaatori tüübile valemid (14, 16, 19, 21). Need valemid on kirjutatud sarnasusteooria kriteeriaalvõrrandite kujul.

Esitatud teooria on rakendatav neutralisaatorite konstrueerimisel. Tulemuste praktilise kasutamise hõlbustamiseks on joon. 2 toodud samaefektiivsusjoonte parved neutralisaatorite kahe põhitüübi jaoks.

## THEORY OF THE SIMPLEST MODEL OF A PLANE NEUTRALIZER OF STATIC CHARGES

H. Tammet

Summary

The simplest model of a neutralizer of static charges resembles a plane condenser whose one cover is an ionizer, the other cover is a surface to be neutralized (Fig. 1a).

In case of increasing the capacity of the ionizer, the density of the flux of air ions approaches a limit described by formula (8). The limiting operating conditions are called the conditions of an ideal neutralizer. The intensity of an ideal neutralizer is restricted by the space charge between the ionizer and the surface to be neutralized.

The ratio of the mean current density of the neutralizer to the current density of the ideal neutralizer is called the efficiency of a neutralizer.

The dependence of efficiency on the parameters of the neutralizer is described by the formulas (14, 16, 19, 21) of the corresponding type of the ionizer used. These formulas have been written in the form of criterial equations of the similarity theory.

The theory presented above is applicable to the construction of neutralizers. To make the practical application of the results easier, sets of isoefficiency lines have been given for both basic types (Fig. 2).



## КОРОННЫЙ НЕЙТРАЛИЗАТОР СО СКВОЗНЫМ ПОТОКОМ ВОЗДУХА

Л. Ю. Виснапуу, Я. Ю. Рейнет, Э. Ю. Ютс

Предотвращение вредных проявлений статического электричества нередко достигается нейтрализацией возникающих электростатических зарядов. Для этого применяются нейтрализаторы, представляющие собой обычно устройства, ионизирующие воздух [1]. Принцип действия нейтрализаторов сводится к тому, что ионы, имеющие полярность, противоположную полярности статических зарядов, притягиваются к последним и нейтрализуют их.

Каждый нейтрализатор обладает способностью нейтрализовать заряды с определенной эффективностью в ограниченной зоне действия, зависящей от свойств ионов и условий их движения. Эффективность известных нейтрализаторов весьма быстро падает по мере увеличения расстояния до нейтрализуемых зарядов. Поэтому, когда нейтрализуемые заряды расположены далеко от нейтрализатора (0,5 м и дальше) или распределены в объеме, могут возникнуть трудности — эффективность нейтрализатора оказывается недостаточной.

В результате поисков устройства, пригодного для устранения электростатических зарядов волокнистых материалов, транспортируемых потоком воздуха, авторами был создан нейтрализатор, описание и характеристики которого приведены ниже. Этот нейтрализатор уже более трех лет успешно применяется на Красногорском экспериментальной бумажном комбинате при производстве длинноволокнистой бумаги.

Принципиальное устройство нейтрализатора показано на рис. 1. Нейтрализатор состоит из нескольких параллельных металлических стержней 5, прикрепленных к каркасу из диэлектрического материала. Стержни 5 снабжены иглами 1 и 3. В плоскости острий игл установлена пластина 4, имеющая круглые отверстия соответственно расположению игл, так что оси отверстий и игл совпадают. Стержни 5 соединены между собой электрически через один, образуя две группы электродов с иглами 1 и 3. Одна

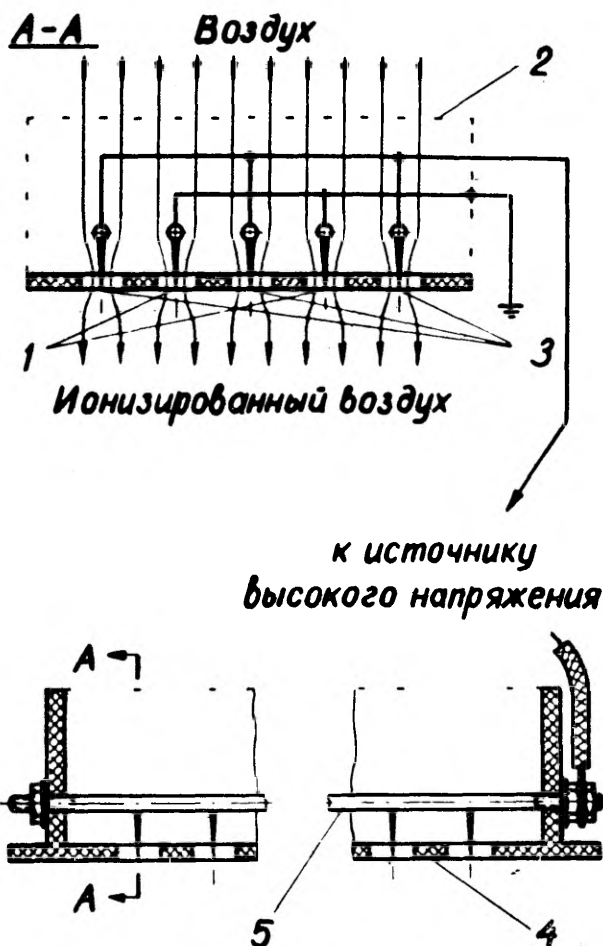


Рис. 1. Принципиальное устройство нейтрализатора.  
 1 — коронирующие электроды индукционного нейтрализатора; 2 — металлическая сетка; 3 — коронирующие электроды нейтрализатора с высоким напряжением; 4 — пластина с отверстиями; 5 — стержни—держатели игл.

группа электродов, например 1, заземляется, а на другую, в данном случае 3, подается высокое напряжение. В целях безопасности сверху электроды прикрыты металлической сеткой 2, которая также заземляется.

Нейтрализатор работает следующим образом. Высокое напряжение, поданное на электроды 3, вызывает на остриях игл коронный разряд. Заземленные электроды 1 обуславливают бо-

лее сильный выходной ток коронного разряда. К тому же электроды 1 служат в качестве индукционных, коронируя под воздействием внешнего электрического поля. Через отверстия в пластине 4, мимо коронирующих игл 1 и 3 и через сетку 2 протягивается воздух. В области упомянутых отверстий сечение потока воздуха суживается и линейная скорость течения возрастает. Струи воздуха через отверстия способствуют удалению ионов, образующихся при коронном разряде, от нейтрализатора, увеличивая его эффективность и зону действия. Таким образом, рассматриваемый нейтрализатор является комбинированным, в котором совместно применяются электроды с высоким напряжением и индукционные.

Изготовленные экземпляры нейтрализатора имеют габариты  $1250 \times 260 \times 100$  мм. В качестве коронирующих игл применены обыкновенные швейные иглы № 1, которые прикреплены к пяти латунным стержням диаметром 5 мм и длиной 900 мм. Иглы имеют длину 30 мм и расположены друг от друга на расстоянии 37 мм. Расстояние между стержнями составляет также 37 мм. Число игл на каждом стержне 23. Пластина с отверстиями и торцевые стенки нейтрализатора выполнены из винипласта. Диаметр отверстий в пластине 22 мм. Ребра устройства укреплены металлическими уголками.

Источник высокого напряжения представляет собой трансформатор, последовательно с первичной обмоткой которого включено токоограничивающее нелинейное сопротивление. Последним служит обыкновенная лампочка накаливания 220 в, 40 вт. Степень накала лампочки указывает к тому же на нагрузку трансформатора. Сердечник трансформатора собран из пластин УШ-40, у которых удален средний столбец; толщина набора 75 мм. На одно плечо намотана сетевая обмотка — 1950 витков ПЭЛ-0,4, а на другое повышающая — 90 000 витков ПЭЛ-0,12. В целях уменьшения тока короткого замыкания сердечник имеет зазор, фиксированный при испытании. Каркасы обмоток изготовлены из оргстекла. Повышающая обмотка имеет три секции. Так как трансформатор должен работать в условиях повышенной влажности, то он заключен в закрытый ящик и залит трансформаторным маслом. Высокое напряжение выведено через фарфоровый изолятор. Выходное напряжение 9–10 кв, ток короткого замыкания не превышает 4 ма. От одного источника питается несколько нейтрализаторов.

В лабораторных условиях описанный нейтрализатор испытывался по схеме, изображенной на рис. 2. Нейтрализатор устанавливался на определенном расстоянии  $a$  от плоской изолированной металлической пластины 5, на которую от источника 1 («TESLA» — BC 222) подавалось постоянное напряжение. Ионизационный ток нейтрализатора оценивался по показанию миллиамперметра, имеющегося на пульте управления указанного

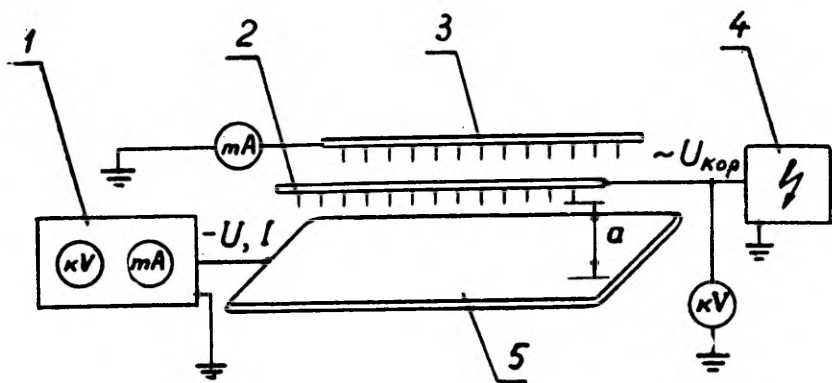


Рис. 2. Схема установки для лабораторного испытания нейтрализаторов. 1 — источник постоянного высокого напряжения; 2 — электрод нейтрализатора с высоким напряжением; 3 — электрод индукционного нейтрализатора; 4 — источник питания нейтрализатора; 5 — пластина, имитирующая заряженную поверхность.

источника высокого напряжения. При лабораторных испытаниях поток воздуха через нейтрализатор, из-за отсутствия воздуходува необходимой производительности, не создавался.

Вольт-амперные характеристики нейтрализатора при различных расстояниях  $a$  между коронирующими остриями и пластиной, имитирующей заряженную поверхность, представлены на рис. 3. Сплошной линией нанесены значения суммарного ионизационного тока  $I$  на пластину, когда два стержня нейтрализатора заземлены, а на три подано высокое напряжение. Штриховой линией показана сила тока  $I_{\text{инд}}$  (постоянная составляющая), стекающего при этом с острий игл двух заземленных стержней. Штрих-пунктирной линией обозначена сила общего ионизационного тока нейтрализатора в том случае, когда на все пять стержней подано высокое напряжение. Сравнивая соответствующую кривую 2 с кривой 1, видно, что нейтрализатор с комбинированным включением коронирующих электродов (сочетание индукционного нейтрализатора с высоковольтным нейтрализатором) обладает большей эффективностью, чем тот же нейтрализатор, у которого все электроды под высоким напряжением. При этом следует иметь в виду, что существенную роль в повышении эффективности нейтрализатора играют также удаление созданных ионов от ионизатора [2] и поступление их в зону нейтрализации. В рассмотренном нейтрализаторе это достигается наличием струй воздуха, непосредственно обтекающих коронирующие острия. Ионизаторы с коронным разрядом постоянного тока, в которых применен поток воздуха, описаны в работах [3, 4].

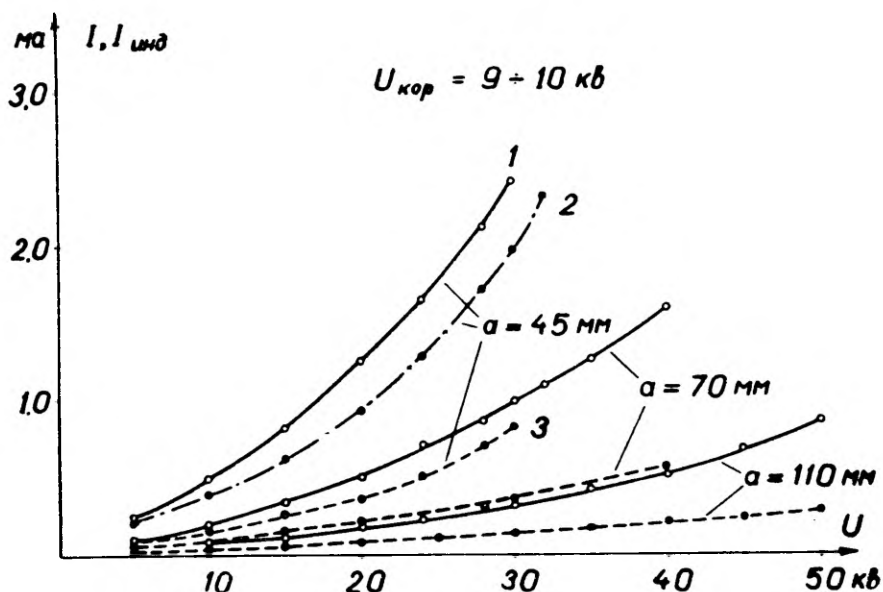


Рис. 3. Вольт-амперные характеристики нейтрализатора при различных расстояниях  $a$  между коронирующими остриями и разряжаемой поверхностью; — суммарный ионизационный ток нейтрализатора, когда на три электрода подано высокое напряжение, а два электрода заземлены; — — — ионизационный ток от острий двух заземленных электродов; — — — — суммарный ионизационный ток нейтрализатора при условии, что на все электроды подано высокое напряжение.

Для выяснения характера зависимости выходного тока ионизатора от скорости обтекающего коронирующие электроды воздуха, а также для оценки влияния потока этого воздуха на выходной ток при различных расстояниях разряжаемого тела от ионизатора были проведены соответствующие измерения на модельном устройстве. Ионизатором служит игольчатый электрод, установленный по оси винипластовой трубки с внутренним диаметром 25 мм. Острые иглы (такой же, как в вышеописанном нейтрализаторе) выступало на 2 мм от переднего среза трубки. При работе на электрод подавалось напряжение 10 кВ, 50 гц от высоковольтного трансформатора, свободный вывод повышающей обмотки которого заземлялся через микроамперметр постоянного тока. Последний прибор позволял измерять выходной ток ионизатора. Через трубку посредством пылесоса продувался воздух. Скорость воздуха изменялась путем изменения напряжения, подаваемого на электродвигатель пылесоса, а значение ее определялось как отношение расхода воздуха, измеренного расходомером, к площади живого сечения трубки. На пластину, имити-

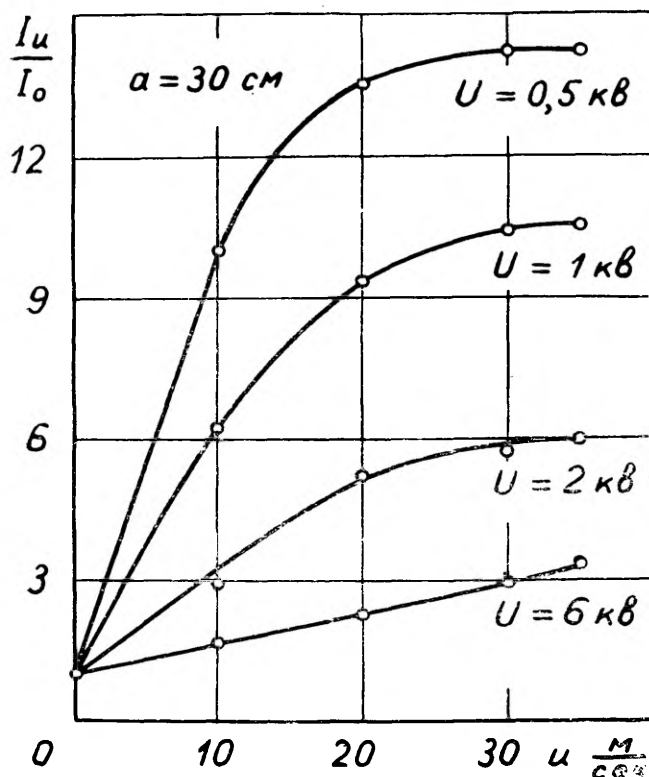


Рис. 4. Зависимость относительного выходного тока ионизатора от скорости потока воздуха, продуваемого через ионизатор, при некоторых значениях напряжения на разряжаемой пластине.

рующую заряженную поверхность и на которую направлялся ионизационный ток, подавалось положительное напряжение таким же образом, как в случае испытания самого нейтрализатора.

Для выражения относительного изменения выходного тока ионизатора, обусловленного потоком воздуха, введем отношение  $I_u/I_0$ , где  $I_u$  — выходной ток ионизатора при определенной скорости и обтекающего коронирующее острие воздуха,  $I_0$  — выходной ток при отсутствии потока воздуха. Данное отношение показывает, во сколько раз увеличивается выходной ток ионизатора без потока воздуха, если через него создать поток воздуха со скоростью и при прочих равных условиях.

На рис. 4 приведена зависимость отношения  $I_u/I_0$  от скорости потока воздуха и при некоторых значениях напряжения  $U$  на разряжаемой пластине, расположенной на расстоянии  $a$  от коро-

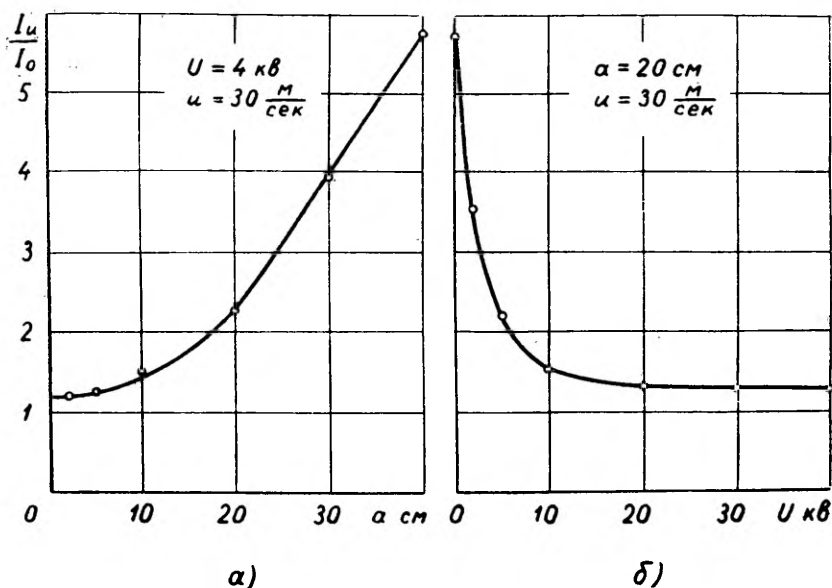


Рис. 5. Зависимость относительного выходного тока ионизатора от расстояния до разряжаемой пластины (а) и от напряжения на пластине (б).

нирующего острия. Каждой кривой соответствует определенное значение  $I_0$ . Как видно, влияние потока воздуха на увеличение относительного выходного тока ионизатора тем больше, чем меньше напряжение на имитирующей разряжаемое тело пластине. При меньших напряжениях заметно также наступление насыщения тока нейтрализации, т. е. ток перестает увеличиваться с увеличением скорости потока воздуха.

На рис. 5 показаны изменения отношения  $I_u/I_0$  в зависимости от расстояния  $a$  при фиксированном напряжении  $U$  и от напряжения  $U$  при фиксированном расстоянии  $a$ . В обоих случаях скорость потока воздуха  $u$  была постоянной. При этом каждой точке графика соответствуют свои значения  $I_u$  и  $I_0$ . По графику рис. 5а видно, что эффективность применения потока воздуха при ионизаторе растет с увеличением расстояния  $a$ . График рис. 5б показывает, что поток воздуха через ионизатор в данных конкретных условиях оправдывает себя лишь при достаточно малых напряжениях  $U$ .

В общем можно заметить, что создание потока воздуха с целью увеличения тока от ионизатора к разряжаемому телу тем эффективнее, чем меньше напряженность электрического поля между ними.

Приведенные графики относятся к случаю, когда на пластину подавалось положительное напряжение. Если на пластине отри-

цательное напряжение, то соответствующие кривые несколько выше, чем данные, хотя значение самих  $I_0$  и  $I_u$  меньше. Следовательно, при нейтрализации отрицательных зарядов роль потока воздуха относительно больше, чем при нейтрализации положительных зарядов. Это обусловлено различной электрической подвижностью отрицательных и положительных ионов воздуха.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Егоров В. Н., Удаление электростатических зарядов путем ионизации воздуха. «Электричество», 1956, № 12, 43—48.
2. Таммет Х. Ф., Удаление ионов от аэроионизаторов. Уч. зап. Тартуского гос. ун-та, вып. 140. Тарту, 1963, 103—112.
3. Ardenne, M., Nebe, E., Schüler, W., Beseitigung elektrostatischer Aufladung bei der Verarbeitung synthetischer Seiden auf Bobinetmaschinen. «Deutsche Textiltechnik», 1958, Nr. 3, S. 138.
4. Whitby, K. T., Generator for producing high concentrations of small ions. «Review of scientific instruments», 1961, vol. 32, No. 12, p. 1351—1355.

Поступила 25/VI 1968 г.

## LÄBIVA ÕHUVOOLUGA KOROONANEUTRALISAATOR

L. Visnapuu, J. Reinet, E. Üts

### Resümee

Autorite poolt kirjeldatakse kombineeritud neutralisaatorit, milles kasutatakse nii kõrgepinget kui ka indutseerivaid elektroode. Neutralisaatori efektiivsuse tõstmiseks eemaldatakse koronaalähedusel tekkivad ioonid õhuvoolu abil, mis läbib avasid, kus asuvad koroneerivad elektroodid. Võrreldes neutralisaatoriga, kus kõik elektroodid asuvad kõrgepingel all, on sellisel neutralisaatoril suurendatud efektiivsus ja tegevustsoon. See on seletatav koroneerivate elektroodide elektrivälja gradiendi suurenemisega. Selist tüüpi neutralisaatoreid kasutatakse kolm aastat edukalt Krasnogorodski Eksperimentaalses Pabrikokombinaadis pikakiulise paberi tootmise juures.

## CORONA NEUTRALIZER WITH A THROUGH AIR FLOW

L. Visnapuu, J. Reinet, E. Üts

### Summary

The authors describe a combined neutralizer in which both high-voltage and induction electrodes are used. To increase the efficiency of the neutralizer, the ions coming into being as a result



of a corona discharge are removed by the air current which passes through the orifices where the corona electrodes are situated. Compared with a neutralizer where all the electrodes have been imparted high voltage, such a neutralizer has increased efficiency and a wider sphere of activity. This is explicable by an increase in the gradient of the electric field of the corona electrodes. For over two years such neutralizers have successfully been used at the Krasnogorodsk Experimental Paper Combine in the manufacture of long-fibred paper

## НЕЙТРАЛИЗАТОРЫ СТАТИЧЕСКИХ ЗАРЯДОВ

А. Я. Хальясте, Я. Ю. Рейнет

Устранение вредных статических зарядов в промышленности одна из наиболее важных практических задач, которая требует обычно конкретного анализа и решения. Для устранения статических зарядов в типографиях разработано несколько методов [1, 2, 3, 5, 10]:

- 1) заземление металлических деталей типографских машин, где могут накапливаться заряды;
- 2) обработка поверхностей деталей из диэлектрических материалов химикатами для увеличения электропроводности;
- 3) увеличение относительной влажности воздуха в помещениях;
- 4) ионизация воздуха над наэлектризованной бумагой.

Наиболее подходящим является последний метод, особенно при применении коронного разряда. Среди коронных нейтрализаторов известны индукционные нейтрализаторы, нейтрализаторы с постоянным высоким напряжением и высоким напряжением низкой или высокой частоты. Среди них эффективными оказались нейтрализаторы с постоянным высоким напряжением [1], так как на ионы действует постоянное электрическое поле и замедлена рекомбинация созданных ионов.

В типографиях полярность возникающих на бумаге зарядов переменна [1, 2, 3, 4, 5, 10]. Системы индикации полярности и величины поверхностных зарядов с последующей коррекцией полярности и величины напряжения их нейтрализации сложные и в промышленных условиях ненадежные. По этим причинам в типографиях целесообразно применять нейтрализаторы с высоким напряжением низкой частоты. По сравнению с нейтрализаторами постоянного напряжения эффективность нейтрализаторов переменного напряжения меньше ввиду рекомбинации ионов, но эффект нейтрализации во многих случаях достаточный.

Нейтрализаторы, работающие на высокочастотном напряжении, применяются редко, так как эффективность у них меньше,

чем у нейтрализаторов с переменным напряжением низкой частоты, и система питания сложная [1, 2, 5].

При установлении нейтрализатора на печатную машину нужно учесть, что он должен находиться на расстоянии не менее 145 мм от бумаги по техническим причинам. Выпускаемые у нас нейтрализаторы работают обычно при потенциалах на коронирующих остриях 2—6 кВ [2, 4, 5, 10]. При упомянутом расстоянии от нейтрализуемых материалов они мало эффективны. Для повышения эффективности необходимо увеличить потенциал на остриях. При этом, однако, генерируются озон и соединения азота в больших количествах, что вредно для здоровья людей, работающих в соответствующих помещениях.

По приведенным соображениям в данной работе исследовали эффективность нейтрализаторов переменного напряжения низкой частоты, работающих при потенциалах  $6 \div 12$  кВ, в зависимости от их конструкции. На основе полученных данных сконструирован нейтрализатор, который в отличие от прежних работает при более высоком потенциале на остриях (12 кВ). Разработана система отсоса вредных продуктов разряда.

Для сравнения эффективностей нейтрализаторов в настоящей работе использован метод И. Староба и И. Шиморда [1].

Для создания опытных условий, близких к эксплуатационным, электрод А с коронирующими остриями в заземленном кожухе В устанавливали на расстоянии 145 мм над металлической пластиной С ( $350 \times 850$  мм), которая имитировала заряженную бумагу (рис. 1). Пластина была изолирована от земли при помощи фарфорового изолятора Д. На пластину подавали положительный или отрицательный потенциал от высоковольтного выпрямителя TESLA BS 222. Сила тока от специального трансфор-

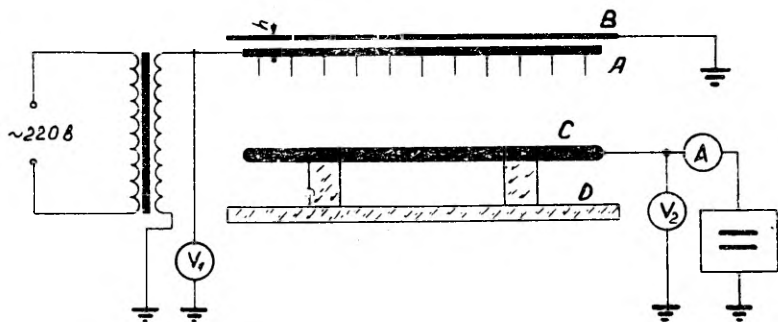


Рис. 1. Схема опыта при снятии характеристик нейтрализаторов:

А — электрод с коронирующими остриями; В — заземленный кожух; С — металлическая пластина, имитирующая заряженную бумагу; Д — фарфоровые изоляторы;  $V_1$ ,  $V_2$  — электростатические вольтметры типа С-96; А — микроамперметр типа М-24 на 50 мкА; = — высоковольтный выпрямитель TESLA BS;  $h$  — расстояние верхней части кожуха от электрода.

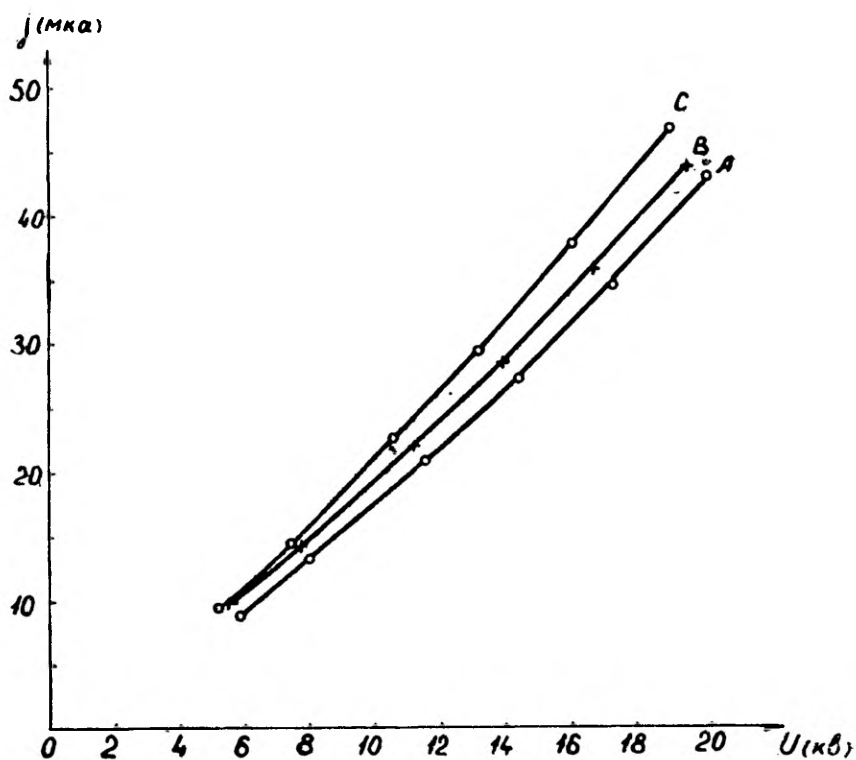


Рис. 2. Вольт-амперные характеристики нейтрализатора, полученные при изучении влияния верхней части кожуха.

матора для питания коронирующей системы была ограничена 2 ма. Потенциалы на пластине и коронирующих остриях измерялись электростатическими вольтметрами типа С-96. Остриями являлись швейные иглы № 1 длиной 15 мм.

Для оценки эффективности нейтрализатора измеряли униполярный ионизационный ток на пластину микроамперметром М-24 на 50 мкА. Зависимость ионизационного тока  $j$  от потенциала пластины  $U$  дает нам характеристику эффективности нейтрализатора  $j=f(U)$ .

С целью избежания случайных соприкосновений обслуживающего персонала с электродом нейтрализатора последний окружен кожухом. От конструкции кожуха зависит также эффективность нейтрализатора.

Характеристики на рис. 2 описывают эффективность нейтрализатора, когда над электродом установлена заземленная металлическая пластина (100×1000 мм). Кривая А получена, когда

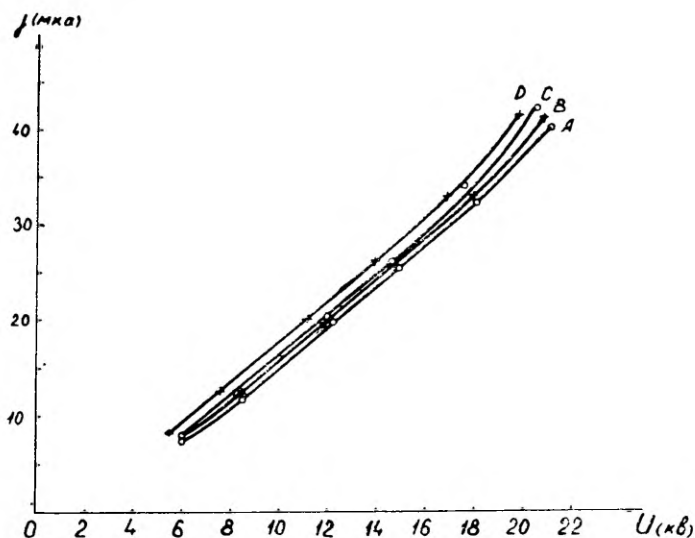


Рис. 3. Вольт-амперные характеристики при изучении влияния боковых стенок кожуха.

пластина отсутствовала. При В и С расстояние пластины от электрода составляло соответственно 80 и 20 мм.

Рис. 3 иллюстрирует результаты, полученные при изменении высоты боковых стенок П-образного кожуха. Расстояние электрода от боковых стенок 25 мм и от верхней части кожуха 20 мм. При А боковые ребра были на 5 мм ниже острий, при В — на плоскости острий и при С на 10 мм выше острий. Д соответствует случаю, когда над электродом была только пластина. В обоих случаях потенциал на остриях 12 кв и нейтрализуемый заряд отрицательный.

Как видно, для повышения эффективности нейтрализатора верхнюю часть кожуха желательно изготовить из металла и заземлить. Под влиянием заземленного металлического кожуха деформируется объемный заряд около острия, вследствие чего уменьшается эффективное сопротивление разрядного промежутка острие-плоскость и увеличивается нейтрализационный ток.

При потенциалах на электроде 12 кв расстояние между округленным иглодержателем и кожухом должно быть не менее 20 ÷ 25 мм для предотвращения искрового пробоя.

Как видно из рисунка 3, боковые стенки кожуха нежелательно изготовлять из металла, т. к. часть ионов попадает на заземленный кожух и эффективность нейтрализатора уменьшается. Подходящими материалами оказались пластмассы (эбонит, винипласт, плексиглас)

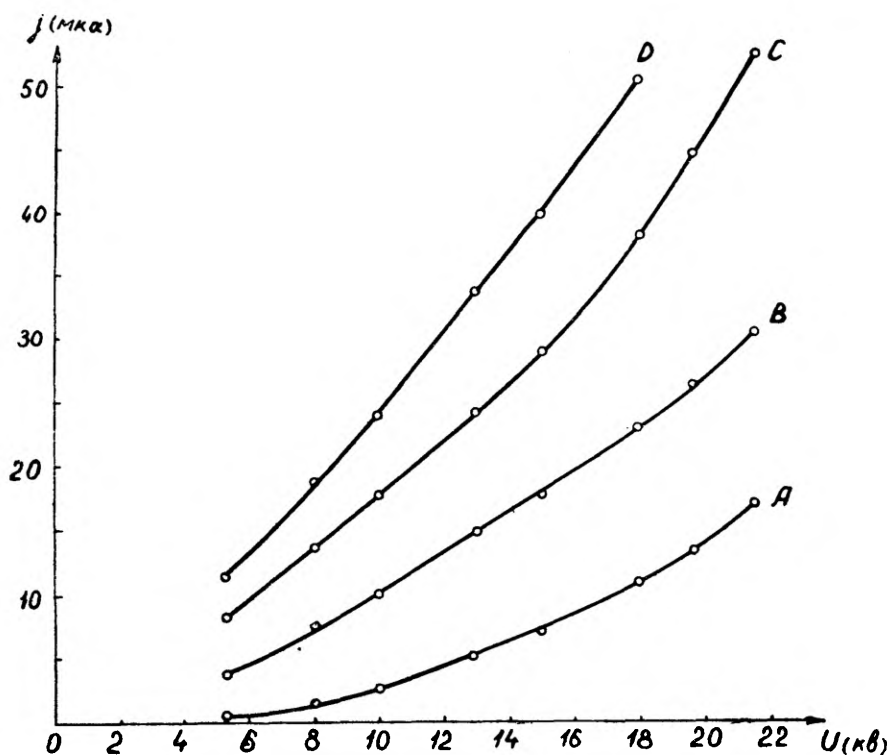


Рис. 4. Вольт-амперные характеристики при разных потенциалах на остриях.

Большинство известных нейтрализаторов сконструировано так, что острия сильно экранированы [1, 2, 5, 10]. Только П. А. Полоник [4] заменил металлический кожух вблизи острий пластмассовым. На основании данной работы можно утверждать, что это верный способ повышения эффективности нейтрализатора.

На рис. 4 приведены кривые, характеризующие изменение эффективности нейтрализатора в зависимости от потенциала, подаваемого на коронирующие острия. Характеристики А, В, С и D получены при потенциалах соответственно 3, 6, 9 и 12 кв. В качестве кожуха использовали заземленную металлическую пластину на расстоянии 20 мм от электрода. Нейтрализуемый заряд — отрицательный.

Для удаления озона нейтрализатор закрыт снизу пластмассовой пластиной, в которую для острий просверлены отверстия диаметром не менее 3 мм. Острия должны слегка высываться из-под покрытия. В противном случае поверхностный заряд и по-

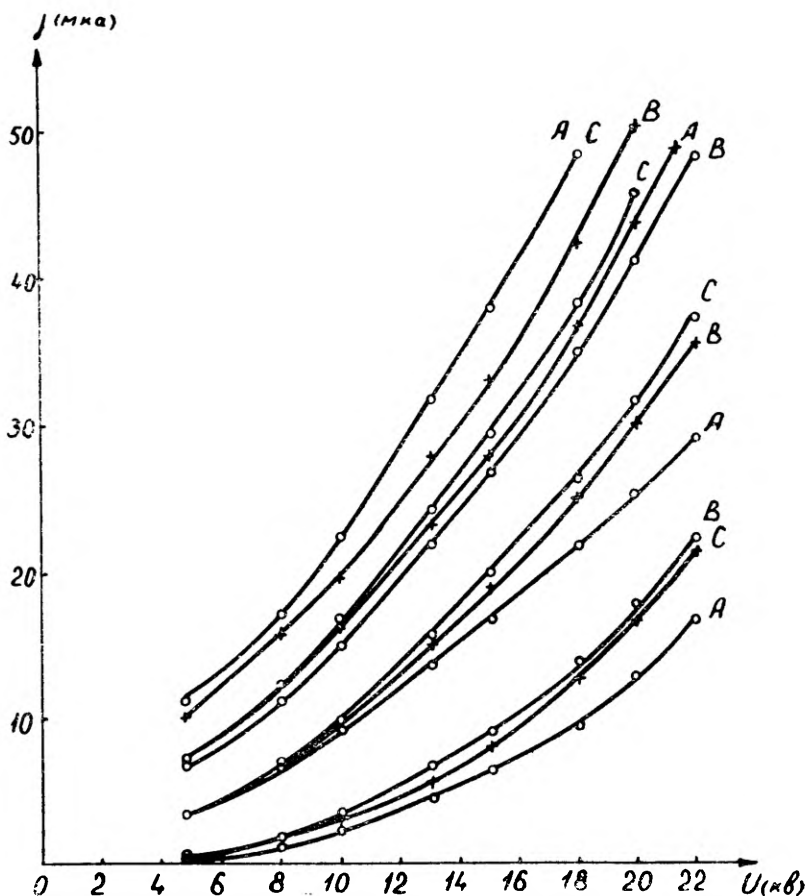


Рис. 5. Вольтамперные характеристики, полученные при сравнении эффективностей одноэлектродного и трехэлектродного нейтрализаторов.

ляризация диэлектрика уменьшают коронный ток и эффективность нейтрализатора понижается.

При помощи вентилятора под кожухом нейтрализатора создается тяга воздуха, удаляющая озон в вентиляционную систему.

Нами были исследованы и трехэлектродные нейтрализаторы, где средний электрод заземлен [7]. Сравнивали эффективности одноэлектродного и трехэлектродного нейтрализаторов при потенциалах на остриях 3, 6, 9 и 12 кв, когда количество острий в обоих нейтрализаторах и рабочая длина нейтрализаторов были равны. В качестве кожуха использовали металлическую пластину на расстоянии 20 мм от электродов. Результаты эксперимента

приведены на рис. 5. Характеристики с индексом А соответствуют однорядному нейтрализатору. Характеристики трехэлектродного нейтрализатора при межэлектродном расстоянии 20 мм обозначены индексом В и при межэлектродном расстоянии 45 мм — индексом С.

Видно, что при расстоянии 145 мм между остриями и разряжаемой пластиной трехэлектродный нейтрализатор такой конструкции при потенциалах 3 кв и 6 кв эффективнее одноэлектродного, особенно при высоких потенциалах на нейтрализуемой поверхности. Это объясняется тем, что при высоких потенциалах на нейтрализуемой поверхности третий заземленный электрод работает успешно как индукционный нейтрализатор. При повышении потенциала на двух незаземленных электродах, как и следовало ожидать, КПД нейтрализатора уменьшается вследствие процессов, связанных с увеличением объемного заряда. С увеличением межэлектродного расстояния вновь повышается эффективность нейтрализатора.

Можно заключить, что при больших расстояниях от нейтрализуемого материала и высоких потенциалах на остриях одноэлектродные нейтрализаторы являются более подходящими, чем трехэлектродные с заземленным средним электродом [7] или четырехрядные, где заземлены крайние электроды. Кроме того, при высоких потенциалах на коронирующих остриях для удаления озона необходимо закрыть нейтрализатор снизу пластмассовой пластиной. В таком случае эффективность трехэлектродного нейтрализатора понизится еще больше ввиду того, что под влиянием диэлектрика заземленный электрод потеряет способность работать эффективно как индукционный нейтрализатор [6]. Верность такого заключения видна из характеристик индукционного нейтрализатора на рис. 6. Кривая А получена, когда нейтрализатор снизу закрыт пластиной из винипласта с отверстиями диаметром 8 мм. Характеристика В получена без пластины. Кожухом служила металлическая полутрубка радиусом 25 мм, на оси которой находился электрод.

Если необходимо удалять озон, то применять двухрядный нейтрализатор нецелесообразно. В двухрядном нейтрализаторе надо увеличить количество отверстий для острий в два раза и объемную скорость вентиляции тоже около двух раз. При этом эффективность нейтрализатора увеличится в среднем на 30%. Так же можно повысить эффективность одноэлектродного нейтрализатора, увеличив потенциал на коронирующих остриях на 2 ÷ 3 кв, но в последнем случае не надо на столько увеличивать объемную скорость вентиляции.

Учитывая полученные результаты, нами сконструирован нейтрализатор на 12 кв (рис. 7) К электроду нейтрализатора прикреплено 60 игл длиной 25 мм, расстояние между соседними иглами 15 мм. Кожухом служит полутрубка радиусом 25 мм.



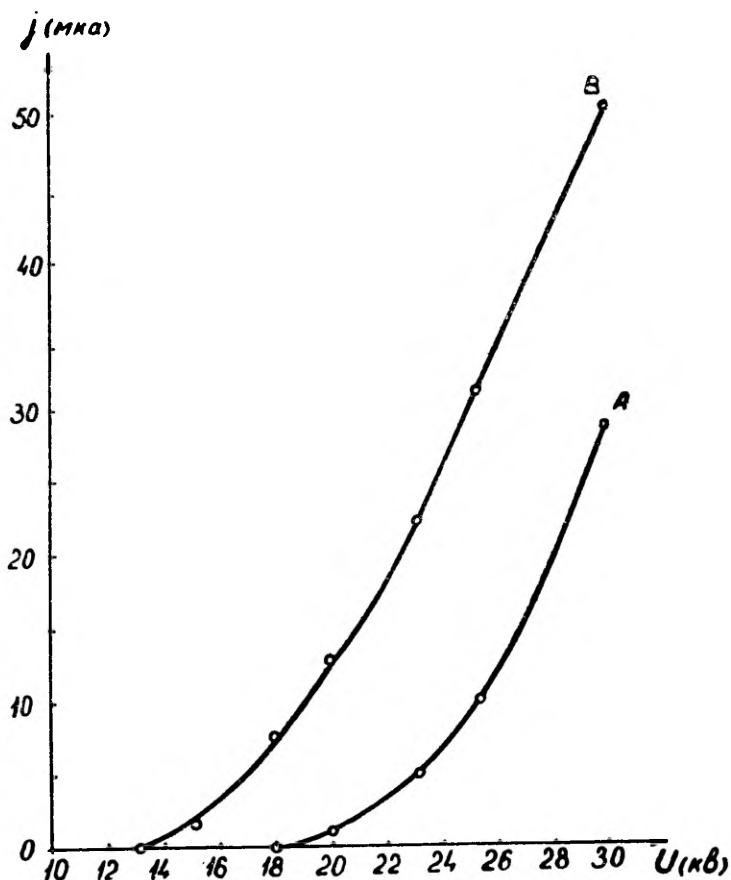
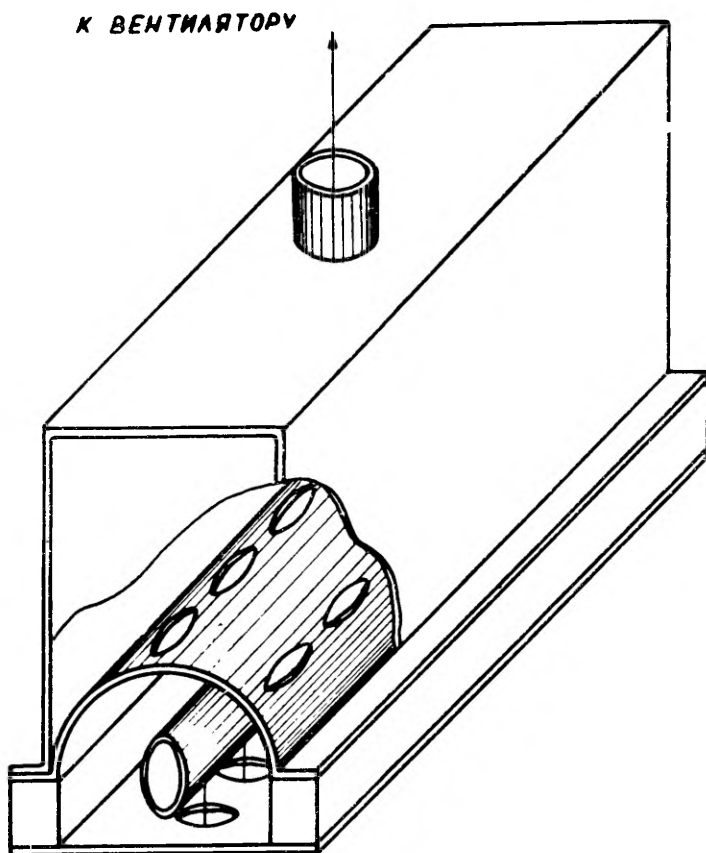


Рис. 6. Вольт-амперные характеристики индукционных нейтрализаторов.

Электрод установлен на оси полутрубки. Боковые стенки и покрытие изготовлены из винипласта. Диаметр отверстий для острий 8 мм (при меньших диаметрах уменьшается эффективность нейтрализатора). Для уравнивания вентиляционной тяги по всему нейтрализатору над ним смонтирована вентиляционная камера сечением  $60 \times 215$  мм, соединенная с нейтрализатором через отверстия в верхней части кожуха.

Запах озона вблизи острий совсем исчезал, когда объемная скорость вентиляции достигала 5,9 л/сек. Уменьшения нейтрализационного тока при этом не замечалось. Количественное определение концентрации озона люминесцентным методом [9] по-



Р и с. 7. Схема нейтрализатора, сконструированного в настоящей работе.

казало, что без вентиляции концентрация озона на расстоянии 10 см от нейтрализатора составляла 0,00015 мг/л. При работе вентиляции концентрация озона была значительно меньше 0,0001 мг/л, что считается допустимой концентрацией.

Можно полагать, что если общая вентиляция помещений хорошая и работают только некоторые нейтрализаторы при напряжении 12 кв, то применение специальной вентиляционной системы устранения озона не является необходимым. Если в одном помещении установлено большое количество нейтрализаторов, то они должны быть снабжены вентиляционным устройством.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Староба, И., Шиморда, И., Статическое электричество в промышленности. Госэнергоиздат, М.-Л., 1960.
2. Беркут, А. Е. и др., Нейтрализаторы статического электричества для машин высокой печати. Лениздат, 1968.
3. Лёб, Л., Статическая электризация. Госэнергоиздат, М.-Л., 1963.
4. Полоник, П. А., Новый ионизатор для устранения электризации волокон. Текстильная промышленность, № 3, 1963.
5. Полоник, П. А., Борьба со статическим электричеством в текстильной и легкой промышленности. М., 1966.
6. Шихов, В. Н., Индукционные нейтрализаторы статического электричества. Полиграфическое производство, № 11, 1968.
7. Рейнет, Я. Ю., Авторское свидетельство № 165848. Бюллетень № 20, 1964.
8. Виснапуу, Л. Ю., Рейнет, Я. Ю., Комбинированный нейтрализатор. Полиграфия, № 5, 1966.
9. Перегуд, Е. А., Степаненко, Э. М., Новые методы определения очень малых количеств озона. Журнал аналитической химии, т. 15, вып. 1, 1960.
10. Löbel W. u. a., Statische Elektrizität bei der Verarbeitung von Chemiefasern. Forschungsinstitut für Textiltechnologie, Karl-Marx-Stadt, 1963.

Поступила 5/1 1969 г.

## STAATILISTE LAENGUTE NEUTRALISAATORID

A. Haljaste, J. Reinert

### Resümee

On uuritud madalsageduslikul vahelduvpingel töötavate koroonaneutralisaatorite efektiivsuse sõltuvust nende konstruktsioonist, kui koroneerivate teravike potentsiaal on 6—12 kV. Samuti on uuritud koroonalahendusel tekkivate mürgiste gaaside kõrvaldamise võimalusi. Saadud tulemuste põhjal on konstrueeritud ventilatsioonisüsteemiga varustatud neutralisaator, mida on sobiv kasutada tööstuses staatiliste laengute neutraliseerimiseks.

## NEUTRALIZER OF STATIC CHARGES

A. Haljaste, J. Reinert

### Summary

The article deals with the dependence of the efficiency of corona neutralizers operating on low-frequency alternating current upon their design in case the voltage of the corona discharge points ranges between 6 and 12 kV. In addition, the article discusses the possibilities of eliminating the poisonous gases arising at corona discharges. On the basis of the results obtained the authors have designed a neutralizer equipped with a ventilating system which is suitable to be applied in the printing, paper and textile industry.

# **СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ НЕЙТРАЛИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИХ ЗАРЯДОВ ПОСРЕДСТВОМ ГЕНЕРАТОРОВ АЭРОИОНОВ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИ ЗАРЯЖЕННОГО АЭРОЗОЛЯ**

Л. Ю. Виснапуу, Я. Ю. Рейнет, Э. А. Тетсов

Если на тело осаждаются заряженные частицы (аэроионы или заряженные аэрозольные частицы), то потенциал этого тела изменяется согласно уравнению

$$U = (Q - \int_{t_0}^t I dt) C^{-1}, \quad (1)$$

где  $U$  и  $C$  — потенциал и электрическая емкость тела;  $Q$  — заряд тела в начальный момент времени  $t=t_0$ ;  $I$  — сила тока осаждающихся на тело заряженных частиц, заряд которых противоположен по знаку заряду тела.

Если заряд распределен на поверхности тела, то

$$Q = \int_F \sigma dF, \quad (2)$$

где  $\sigma$  — поверхностная плотность заряда;  $F$  — поверхность тела.

Силу тока можно представить как

$$I = \int_F j dF \quad (3)$$

где  $j$  — плотность тока заряженных частиц через поверхность, непосредственно прилегающую к поверхности тела.

Эффективность снятия электростатических зарядов на поверхности тела характеризуется скоростью уменьшения потенциала  $U$ . Согласно (1) и (3)

$$\frac{dU}{dt} = -C^{-1} \int_F j dF \quad (4)$$

при этом предполагаем, что  $C$  остается постоянным.

Таким образом, эффективность нейтрализации статического электричества при данном теле определена плотностью тока, которую для определенной группы электрической подвижности заряженных частиц можно выразить как

$$j_k = q_k (kE_n + u_k), \quad (5)$$

где  $q_k$  и  $u_k$  — соответственно объемная плотность заряда и средняя скорость погока осаждающихся заряженных частиц с подвижностью  $k$ ,  $E_n$  — напряженность электрического поля вблизи поверхности тела.

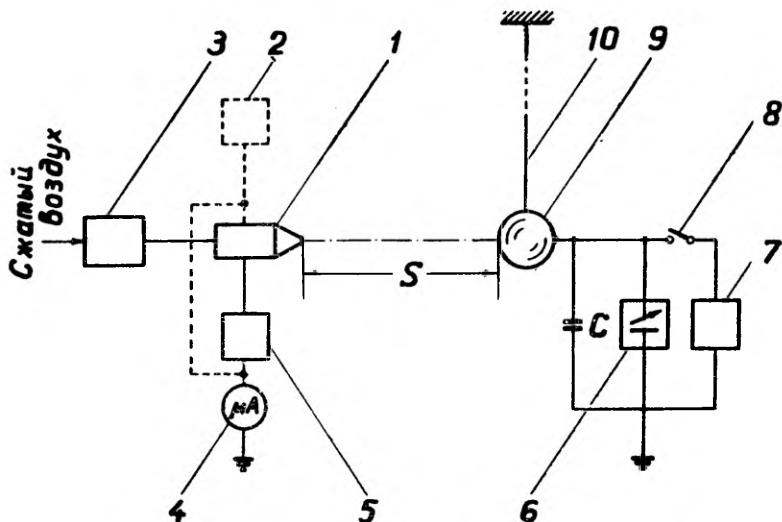
Первое слагаемое правой части (5) соответствует омическому току, а второе — диффузионному и инерционному осаждению заряженных частиц на тело.

Вычисление  $j = \sum_k j_k$  (суммирование ведется по всем имеющимся  $k$ ) в общем случае затруднительно, так как величины  $j_k$ ,  $q_k$  и  $E_n$  находятся во взаимной зависимости.

В данной работе экспериментально определялась зависимость  $j = f(U)$  при различных источниках заряженных частиц и разных режимах их работы. Поскольку при нейтрализации электростатических зарядов особые трудности возникают зачастую в тех случаях, когда источник заряженных частиц по тем или иным причинам нельзя устанавливать вблизи нейтрализуемых зарядов, то главное внимание обращено на сравнение эффективности разных нейтрализаторов при больших расстояниях между источником заряженных частиц и разряжаемым телом. Принципиальная схема измерительной установки изображена на рис. 1.

Источником заряженных частиц 1 служили аэрозольный генератор, описанный в работе [1], и распылитель с коронирующим острием [2]. Последний работал как аэроионизатор, без подачи жидкости, причем заземленное кольцо перед распылителем не применялось. Оба распылителя питались сжатым воздухом. Аэрозольным генератором распыливалась водопроводная вода с расходом 0,08 г/сек. Расход воздуха при измерениях был постоянным, равным 0,5 г/сек. Тем самым создавали примерно одинаковые потоки воздуха как при аэрозольном генераторе, так и аэроионизаторе. Однако при аэроионизаторе применялся также режим, при котором сжатый воздух не подавался, чтобы выявить, насколько сказывается наличие воздушного потока на нейтрализации зарядов аэроионами.

На индуцирующий электрод аэрозольного генератора подавали напряжение +500, ~ 500 и 0 в. При распыливании получали соответственно потоки преимущественно отрицательно, bipolarно заряженных и искусственно не заряженных капелек. На коронирующий электрод аэроионизатора подавали напряжение — 10 и ~ 10 кв. При этом создавались соответственно отрица-



Р и с. 1. Принципиальная схема измерительной установки.

1 — источник заряженных частиц (электроаэрозольный генератор или аэроионизатор); 2 — резервуар жидкости (для получения аэрозоля); 3 — расходомер воздуха; 4 — микроамперметр; 5 — источник напряжения; 6 — статический вольтметр; 7 — источник высокого напряжения; 8 — контакт; 9 — шар, имитирующий заряженное тело; 10 — изоляционная подвеска шара.

тельные и биполярные аэроионы. Частота переменного напряжения 50 гц.

Источник заряженных частиц 1 и подключенные проводниками к нему предметы (резервуар жидкости 2, источник напряжения 5) устанавливались изолированно от земли и заземлялись через микроамперметр 4. Последний при такой схеме включения позволял измерить силу тока заряженных частиц, покидающих источник 1. При получении униполярно заряженных частиц как аэрозольным генератором, так и аэроионизатором соответствующая сила тока составляла приблизительно 0,4 мка. Заметное увеличение этого тока происходило и допускалось при близком расстоянии (0,5 м) аэроионизатора от нейтрализуемого тела. При больших расстояниях значение тока практически оставалось постоянным.

Телом, на котором изучалось снятие статического электричества, служил металлический шар 9 диаметром 0,21 м, который на трех капроновых нитях 10 был подвешен к потолку помещения. В радиусе 1,0 м от шара были удалены посторонние предметы, чтобы электрическое поле шара не было сильно искажено. Посредством отвода шар 9 был подключен к измерительному устройству, состоящему из статического вольтметра 6 (С 96), до-

бавочного, параллельно подключенного с вольтметром конденсатора С (два последовательно соединенных конденсатора ПОВ-15-390), источника высокого напряжения 7 («TESLA» — ВС 222) и контакта 8.

При измерениях тока осаждающихся на шар заряженных частиц источник 1 устанавливался на определенном расстоянии S от шара 9. Поток заряженных частиц направлялся в сторону шара. На последний от источника высокого напряжения 7 через контакт 8 подавался постоянный потенциал противоположной полярности около 25 кв. Разомкнув контакт 8 и следя за показанием статического вольтметра 6, с помощью секундомера определялось время падения потенциала от 20 до 15, 10, 5 кв и т. д. до стационарного потенциала, при котором изменение показания вольтметра практически прекращалось. Скорость падения потенциала шара измерялась также при недействующем источнике заряженных частиц. Она была на несколько порядков меньше той, которая регистрировалась при работе источника. Этим проверялось качество изоляции заряженного тела.

Измерения были проведены при расстояниях  $S=0,5; 1,0$  и  $1,5$  м. Источник заряженных частиц работал в семи вышеуказанных режимах. Относительная влажность воздуха вблизи шара, имитирующего тело, определялась аспирационным психрометром и составляла при работе аэроионизатора 36% и аэрозольного генератора 40%. Температура воздуха равнялась соответственно 20 и 21°С. Скорость потока воздуха из источника заряженных частиц на расстоянии  $S=0,5$  м, измеренная ручным анемометром МС-13, составляла 1,5 м/сек.

При каждом режиме работы источника заряженных частиц и каждом указанном расстоянии измерения скорости падений потенциала шара были проведены 3 раза. При этом отклонения фиксированных значений времени от среднеарифметических не превышали 5%. По полученным данным были построены вспомогательные графики  $U=f(t)$ , которые сглаживались на глаз.

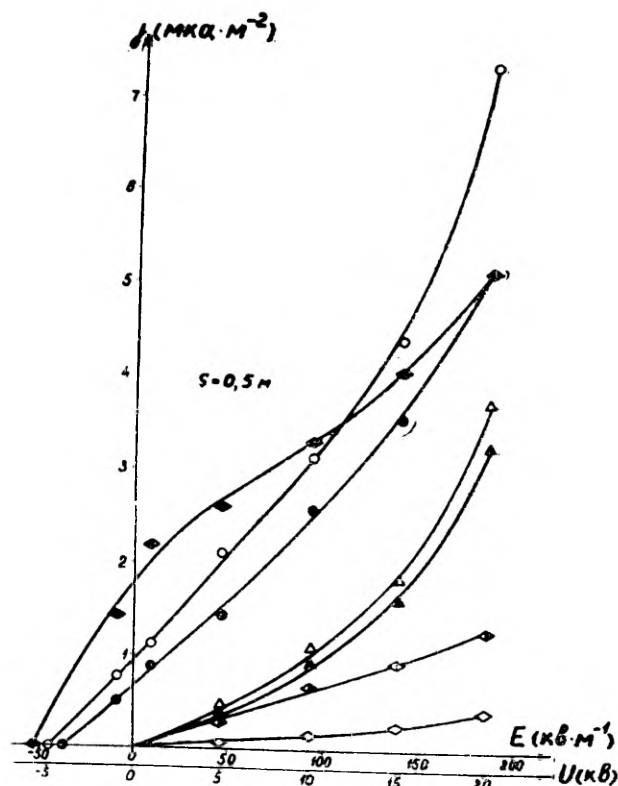
На основе таких графиков для каждого режима работы и положения источника заряженных частиц были вычислены значения зависимости  $j=f(U)$  и построены соответствующие графики, приведенные на рис. 2.

Вычисления проводились по формуле

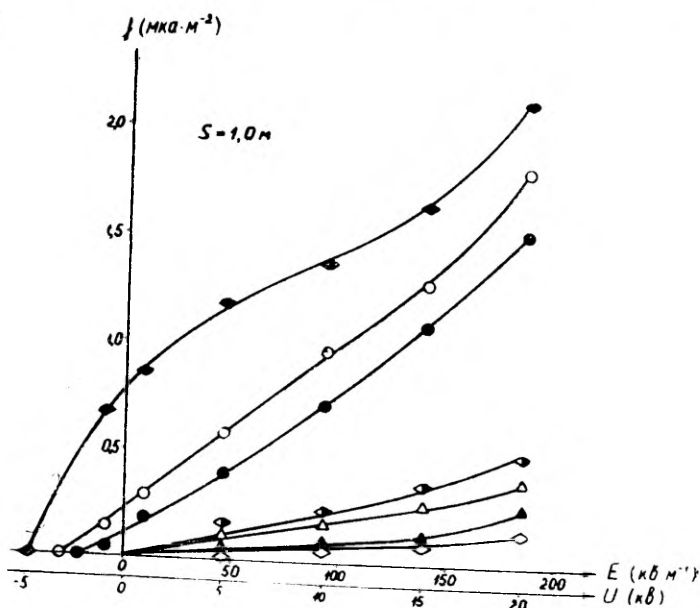
$$j = - \frac{C}{F} \frac{dU}{dt}, \quad (6)$$

где С — электрическая емкость шара, подключенного к измерительному устройству (при разомкнутом контакте); F — площадь поверхности шара; значения  $dU/dt$  определялись по графикам  $U=f(t)$  как  $\operatorname{tg} \alpha$  ( $\alpha$  — угол наклона касательной к кривой в рассматриваемой точке U). Значение С измерялось с помощью моста емкостей «TESLA» — ВМ 400 и равнялось 218 пф.

a



b





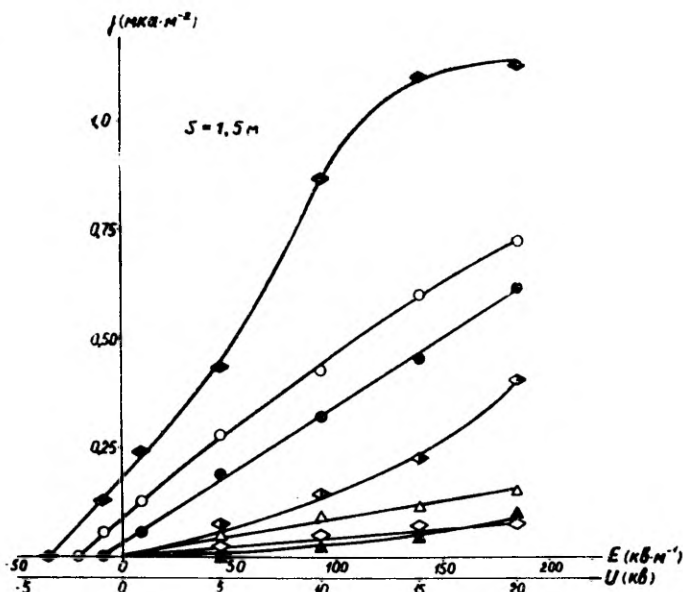


Рис. 2 а, б, в. Зависимость поверхностной плотности тока на шар от его потенциала при различных расстояниях  $S$  и режимах работы источника заряженных частиц:

- ◇ — искусственно не заряженный аэрозоль;
- ◊ — биполярно заряженный аэрозоль;
- ◆ — отрицательно заряженный аэрозоль;
- ▲ — биполярные аэроионы без потока воздуха;
- △ — биполярные аэроионы при наличии потока воздуха;
- — отрицательные аэроионы без потока воздуха;
- — отрицательные аэроионы при наличии потока воздуха.

На рис. 2 наряду со значениями аргумента  $U$  представлены также значения некоторой усредненной напряженности электрического поля вблизи поверхности шара, вычисленной как  $E = \frac{U}{a}$  ( $a$  — радиус шара). Кривые  $j(E)$  имеют вогнутость, если с падением  $E$  соответствующее значение  $q$  уменьшается, и выпуклость, если  $q$  увеличивается. Уменьшение или увеличение  $q$  зависит при этом от соотношения расхода и прихода объемного заряда в область, прилежащую к поверхности разряжаемого тела.

Графики  $j=f(E)$  целесообразны тем, что по ним можно определить удельную дифференциальную электропроводность среды, обусловленную действием различных источников заряженных частиц, и получить тем самым общую характеристику для оценки эффективности применения их при нейтрализации электростатических зарядов в разных условиях. Удельная дифференциальная

$$\lambda = \frac{dj}{dE} = \operatorname{tg} \beta, \quad (7)$$

где  $\beta$  — угол наклона касательной к кривой  $j=f(E)$  при заданном значении  $E$ .

Подразумевая под эффективностью нейтрализации статических зарядов плотность тока нейтрализующих заряженных частиц, по рис. 2 видно, что в случае больших расстояний (около 1 м и более) между разряжаемым телом и источником заряженных частиц испытанные нейтрализующие агенты располагаются по своей эффективности в следующей последовательности (в порядке убывания эффективности):

- преимущественно униполярно заряженный аэрозоль;
- униполярные аэроионы с добавочным потоком воздуха;
- униполярные аэроионы без добавочного потока воздуха;
- биполярно заряженный аэрозоль;
- биполярные аэроионы с добавочным потоком воздуха;
- биполярные аэроионы без добавочного потока воздуха;
- искусственно не заряженный аэрозоль.

Анализируя графики рис. 2, можно сделать следующие выводы.

1. При нейтрализации статических зарядов тела потоком разноименно заряженных частиц эффективность нейтрализации убывает с уменьшением напряженности электрического поля и с увеличением расстояния между телом и источником заряженных частиц.

2. Источник униполярно заряженных частиц обладает наибольшей эффективностью нейтрализации, однако разряжаемое тело может при этом после разряда перезарядиться, особенно при электроаэрозоле. Во избежание перезарядки режим источника должен соответствовать полярности и величине нейтрализуемых зарядов.

3. Создание при нейтрализующих заряженных частицах добавочного потока воздуха, направленного к разряжаемому телу, способствует увеличению эффективности нейтрализации, особенно при больших расстояниях.

4. С увеличением расстояния между разряжаемым телом и источником заряженных частиц эффективность нейтрализации электроаэрозолем убывает медленнее, чем эффективность нейтрализации аэроионами, т. е. аэрозольный генератор обладает большей дальностью эффективного действия, чем аэроионизатор (при равной производительности их по заряду)

Таким образом, при нейтрализации электростатических зарядов в случае больших расстояний между разряжаемым телом и источником заряженных частиц применение преимущественно униполярно или биполярно заряженного аэрозоля более эффек-

тивно, чем соответственно униполярно или биполярно ионизированного воздуха. Это объясняется в основном тем, что при проведенных измерениях заряженные аэрозольные частицы обладали меньшей средней электрической подвижностью, чем аэроионы. Благодаря этому заряженные аэрозольные частицы рекомбинировали и рассеивались под действием собственного электрического поля в меньшей мере, чем аэроионы. В результате выражение  $\sum_k q_k k$  (см. формулу (5)) для аэрозольных частиц имеет, по-видимому, большее значение, чем для аэроионов. Некоторая разница может быть обусловлена и составляющей  $\sum_k q_k u_k$ .

Кроме того, следует принять во внимание, что при электроаэрозольном генераторе нейтрализующие заряженные частицы могут быть получены, используя сравнительно низкие напряжения. А это делает соответствующие устройства более искробезопасными. Однако применение электроаэрозольного генератора в качестве нейтрализатора возможно в тех случаях, когда допускается осаждение частиц аэрозоля на заряженные поверхности соответствующих тел.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Виснапуу, Л. Ю., Рейнет, Я. Ю., О создании электрически заряженных аэрозолей в камерах. — В настоящем выпуске.
2. Виснапуу, Л. Ю., Рейнет, Я. Ю., Изучение возможности использования пневматических распылителей для электрической зарядки распыляемых жидкостей. — Сб.: Окраска изделий в электрическом поле. Изд-во «Химия», М., 1966.

Поступила 19/VI 1968 г.

## ELEKTROSTAATILISTE LAENGUTE NEUTRALISEERIMISE EFEKTIIVSUSE VÖRDLEV UURIMINE AEROIOONIDE JA ELEKTRILISELT LAETUD AEROSOOI GENERAATORITE ABIL

L. Visnapuu, J. Reinet, E. Tetsov

### Resümee

Töös on uuritud elektrostaatiliste laengute neutraliseerimise efektiivsust koroona-aeroionisaatori ja elektroaerosooligeneraatori abil nende mitmesuguste töörežiimide puhul. Kaugust neutralisaatori ja laengust vabastatava keha vahel muudeti 0,5 kuni 1,5 m. On koostatud neutraliseeriva voolu tiheduse olenevuse graafik sõltuvalt laengust vabastatava keha potentsiaalist. On näidatud, et elektrostaatiliste laengute neutraliseerimise puhul, suurte kauguste

korral laengust vabastatava keha ja neutralisaatori vahel, on unipolaarselt või bipolaarselt laetud aerosooli kasutamine vastavalt unipolaarselt või bipolaarselt ioniseeritud õhu kasutamisest efektiivsem. Seejuures lisaõhuvoolu tekitamine, mis on suunatud laengust vabastatava keha poole, soodustab neutraliseerimisefektiivsuse suurenemist.

## **COMPARATIVE STUDY OF THE EFFICIENCY OF THE NEUTRALIZATION OF ELECTROSTATIC CHARGES BY MEANS OF GENERATORS OF AIR IONS AND ELECTRICALLY CHARGED AEROSOLS**

**L. Visnapuu, J. Reinet, E. Tetsov**

### **S u m m a r y**

The paper deals with the problem of the efficacy of the neutralization of electrostatic charges by means of a corona air ionizer and an electroaerosol generator under various operating conditions. In the course of the study the distance between the neutralizer and the body to be discharged was changed from 0.5 to 1.5 metres. A graph describing the dependence of the density of the neutralizing current on the potential of the dischargeable body has been drawn up. It has been shown that in the neutralization of electrostatic charges in case the distances between the body to be discharged and the neutralizer are great, the application of unipolarly and bipolarly charged aerosols is more efficient than the use of unipolarly and bipolarly charged air. At the same time the production of an additional air current directed towards the dischargeable body increases the efficiency of neutralization.

## **ОБ ИЗМЕРЕНИЯХ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИХ ЗАРЯДОВ ВОЛОКНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ, ТРАНСПОРТИРУЕМЫХ ВОЗДУШНЫМ ПОТОКОМ**

**Л. Ю. Виснапуу, А. Е. Гущин, М. Э. Лепик**

Известно, что многие производственные процессы сопровождаются проявлениями статического электричества. Электростатические заряды могут возникать при соприкосновении, трении, дроблении материалов, в особенности тех, которые обладают высокими изоляционными качествами. В ряде отраслей промышленности статическое электричество приводит к нарушению технологического процесса, запылению материалов, появлению брака, обуславливает неблагоприятные условия труда [1, 2].

При многих технологических процессах электрические заряды вследствие взаимного притяжения или отталкивания заряженных частиц затрудняют работу, препятствуя увеличению производительности установок. Снижается качество выпускаемой продукции.

Так, например, в бумажной промышленности, при выработке длиноволокнистых бумаг по сухому способу волокна электризуются в процессе чесания и транспортировки воздушным потоком. Наэлектризованные волокна слипаются друг с другом, прилипают к стенкам канала воздуха бумагоделательной машины, что приводит к хлопьеобразованию. В результате создается неравномерный по плотности волокнистый слой. Бумага получается неравномерная по толщине с плохими физико-механическими показателями [3].

Чтобы успешно бороться с возникающими электростатическими зарядами, применяя те или другие нейтрализаторы [4], или вообще судить о степени электризации материалов, необходимо знать, с какой скоростью образуются эти заряды, какова их плотность (поверхностная или объемная).

Для электрических измерений могут применяться различные приборы (разрядники, лампы тлеющего разряда, электроскопы, электрометры, электростатические вольтметры), при помощи которых обычно определяют разности потенциалов заряженных

предметов. Имеются и специальные электронно-измерительные приборы, позволяющие измерять электростатические заряды, поверхностную плотность зарядов на определенной поверхности [5, 6]. Однако для измерения объемных зарядов, т. е. зарядов, распределенных в объеме, эти приборы не всегда применимы.

Ниже описываются два способа оценки плотности объемных электростатических зарядов, образующихся при чесании волокнистых материалов с последующим движением в потоке воздуха. Приводятся также результаты измерений зарядов, проведенных авторами при производстве длиноволокнистых бумаг.

Первый способ измерения основан на накапливании заряженных частиц на коллекторе, а второй — на разрядении заряженными частицами специального измерительного конденсатора. Принципиальная схема соответствующих измерительных устройств приведена на рис. 1.

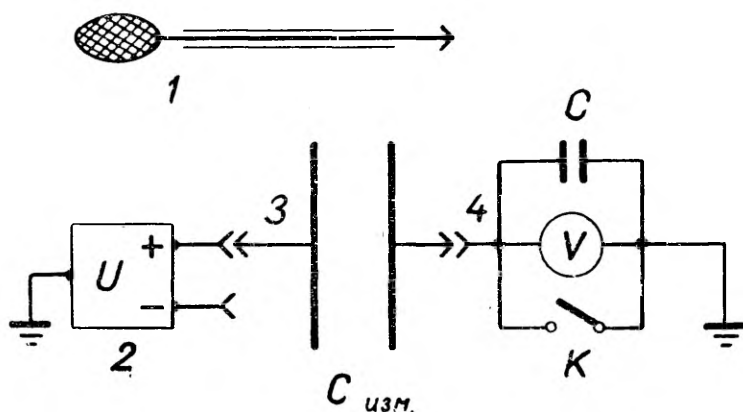


Рис. 1. Принципиальная схема измерительных устройств для определения удельных электростатических зарядов: 1 — коллектор; 2 — источник постоянного напряжения; 3, 4 — зажимы;  $C_{изм.}$  — измерительный конденсатор;  $C$  — конденсатор;  $V$  — статический вольтметр;  $K$  — контакт.

При первом способе коллектор 1 в виде круга из металлической сетки, снабженного рукояткой из изоляционного материала, электрически соединяется с зажимом 4 регистрирующей части. Последняя состоит из параллельно включенных конденсатора  $C$ , статического вольтметра  $V$  и контакта  $K$ . Другой зажим регистрирующей части заземлен.

Для измерений зарядов коллектор 1 вводится в канал воздуха и устанавливается своей плоскостью перпендикулярно к потоку движущихся волокон. Если разомкнуть контакт  $K$ , то накапливание заряженных частиц на коллекторе обуславливает воз-

растание напряжения конденсатора С, что регистрируется статическим вольтметром V. Определив массу волокна, осевшего за единицу времени на коллекторе, можно вычислить удельный заряд наэлектризовавшегося материала. Если электрическая емкость осевшего на коллекторе волокна относительно земли пренебрежительно мала по сравнению с его емкостью относительно коллектора и с емкостью коллектора, подключенного к регистрирующей части устройства с разомкнутым контактом, то независимо от того, в какой мере заряды с волокон переходят на коллектор, удельный заряд волокна

$$q \text{ (мкк/г)} = \frac{C_k \text{ (мкф)} \cdot \Delta U \text{ (в)}}{\Phi_k \text{ (г/сек)} \cdot \Delta t \text{ (сек)}}, \quad (1)$$

где  $C_k$  — емкость коллектора, подключенного к регистрирующей части, при разомкнутом контакте;  $\Delta U$  — изменение показания статического вольтметра измерительного устройства за время  $\Delta t$ ;  $\Phi_k$  — масса волокна, осевшего на коллектор за единицу времени.

Переход зарядов с волокон на коллектор зависит от электропроводности волокнистого материала. Чтобы выполнить вышеуказанное условие, нужно при измерениях коллектор установить подальше от заземленных предметов, а конденсатор измерительного устройства выбрать достаточно большой емкости.

Удельный заряд, определенный по формуле (1), выражает абсолютное значение разности положительного и отрицательного полярных удельных зарядов, т. е.

$$q = |q_+ - q_-| \quad (2)$$

и имеет знак преобладающего по количеству заряда.

При втором способе измерения в канал воздуха вводятся две плоско-параллельные металлические пластины, которые ориентируются параллельно потоку частиц. Одна из пластин (измерительная) соединяется с зажимом 4, а вторая — с клеммой 3 источника напряжения 2 (рис. 1). Эти плоско-параллельные пластины образуют измерительный конденсатор  $C_{из}$ . Перед измерением контакт К замкнут, одна пластина измерительного конденсатора заземлена, а вторая находится под напряжением. Таким образом, между пластинами измерительного конденсатора имеется электростатическое поле определенной напряженности. Устройство позволяет получить сведения о полярных удельных зарядах взвешенных частиц.

При введенном в поток воздуха измерительном конденсаторе заряженные частицы под действием электрического поля в зависимости от знака заряда направляются к той или иной пластине. Достигнув пластины, частицы отдают свои заряды. Заряд, сообщаемый пластине, соединенной с измерительной частью устройства, при разомкнутом контакте К приводит к изменению

потенциала узла 4. Это изменение потенциала отмечается статическим вольтметром V. А заряд, сообщаемый другой пластине, соединенной с источником напряжения, компенсируется последним и изменения потенциала не вызывает.

Если, например, требуется определить положительный удельный заряд волокна, то на зажим 3 от источника 2 подается положительное напряжение (как показано на рис. 1), а при измерении отрицательного заряда — отрицательное напряжение.

Значения полярных удельных зарядов можно вычислить по аналогичной (1) формуле

$$q_{\pm} (\text{мкк/г}) = \frac{C_u (\text{мкф}) (\Delta U / \Delta t)_{\pm} (\text{в/сек})}{\alpha \cdot \Phi_n (\text{г/сек})}, \quad (3)$$

где  $C_u$  — сумма емкости входа регистрирующей части устройства при разомкнутом контакте и емкости измерительного конденсатора;  $\alpha$  — коэффициент, учитывающий степень перехода зарядов с волокон на измерительную пластину ( $\alpha \lesssim 1$ );  $\Phi_n$  — масса волокна, проходящего между пластинами измерительного конденсатора за единицу времени.

При измерениях следует иметь в виду, что наиболее достоверные результаты получаются тогда, когда по возможности весь наэлектризовавшийся материал, проходящий через измерительный конденсатор, передает свой заряд измерительной пластине. Для этого напряжение, подаваемое на измерительный конденсатор, длина пластин и расстояния между ними должны быть выбраны такие, чтобы все входящие в измерительный конденсатор частицы с зарядом определенного знака при своем отклонении в электрическом поле успели достигнуть измерительной пластины, т. е. чтобы имел место режим насыщения. Последний характеризуется независимостью скорости изменения напряжения  $\Delta U / \Delta t$  от дальнейшего повышения напряжения, подаваемого на измерительный конденсатор (при прочих равных условиях). Однако указанное напряжение не должно быть столь высокое, что на пластинах возникнет коронный разряд, который может исказить результаты измерений. Важно было бы также учесть, в какой мере материал, особенно диэлектрический, при соприкосновении с пластиной передает ей свой заряд. Этот момент учитывается в формуле (3) коэффициентом  $\alpha$ , значение которого может быть определено, требуя выполнения условия, выраженного формулой (2), где  $q$  найдено по формуле (1). Тогда формула (3) примет вид

$$q_{\pm} = \frac{(\Delta U / \Delta t)_{\pm} q}{|(\Delta U / \Delta t)_{+} - (\Delta U / \Delta t)_{-}|} \quad (4)$$

Полученная формула удобна тем, что при ее использовании вовсе не требуется знать значений  $C_u$  и  $\Phi_n$ . Однако она приме-



нима лишь при известном значении  $q$ , отличном от нуля и соответствующем тем же условиям образования потока частиц, что при измерении  $\Delta U/\Delta t$ . Место измерения должно быть по возможности также одно и то же.

Описанный способ измерения полярных удельных зарядов, конечно, не претендует на особую точность измерений, но вполне позволяет оценить порядок величин положительных и отрицательных электростатических зарядов частиц, движущихся в воздушном потоке.

Наконец, приведем данные по некоторым измерениям. Измерения зарядов взвешенных в воздушном потоке волокнистых материалов проводились посредством измерительного устройства с коллектором (круг диаметром 0,1 м) на бумагоделательной машине ЛДБ (г Ленинград, ВНИИБ) и машине П5-01 (г. Красное Село, Красногородский экспериментальный бумажный комбинат). Коллектор вводился в канал воздуха в нижнюю его часть. Измерения при помощи измерительного конденсатора проводились только на второй машине. Параметры измерительного конденсатора были следующие: размеры пластин  $0,2 \times 1,0$  м<sup>2</sup>; расстояние между пластинами 0,2 м; напряжение, поданное на измерительный конденсатор, —  $\pm 10$  кв. При обоих способах измерения применялся статический вольтметр типа С 95. Время измерения секундомером СМ 60.

Знак преобладающего заряда при коллекторном способе измерения определялся путем сообщения коллектору первоначального заряда известного знака в начале измерения и последующего определения направления изменения потенциала в процессе самого измерения. Так, например, если коллектору перед его введением в поток частиц при разомкнутом контакте сообщен отрицательный заряд, при котором вольтметр имеет отличное от нуля показание, и после ввода коллектора в канал воздуха показание прибора начинает увеличиваться, то имеем дело с преобладающим отрицательным зарядом. При уменьшении же показания прибора преобладающий заряд положительный. Для определения значения  $\Phi_k$  (скорости накопления волокон на коллектор) материал, осевший за известный промежуток времени на коллектор, взвешивался (на аналитических весах)

В табл. 1 представлены результаты измерений коллекторным способом на машине ЛДБ.

Как видно, капрон наэлектризован значительно больше, чем хлопок, причем знаки преобладающих зарядов различны. В рабочем процессе машины проявления статических зарядов (слипание отдельных волокон, оседание их на стенки канала) при капроне на самом деле выражены сильнее, чем при хлопке.

При работе с хлопком на машине П5-01 средний результат  $q=1,0$  мкк/г (измерено посредством коллектора;  $\Phi_k=0,1$  г/сек) превышает соответствующее значение, приведенное в табл. 1.

Таблица 1

Расчесываемый материал	Хлопок длинно-волокнистый	Капрон
Влажность материала	5÷6%	1÷2%
$C_k$	0,0003 мкф	0,001 мкф
$\Delta U/\Delta t$	10 в/сек	80 в/сек
$\Phi_k$	0,015 г/сек	0,06 г/сек
$q$ [по формуле (1)]	0,2 мкк/г	1,3 мкк/г
Знак заряда	—	+

Степень электризации материала, как известно [7], зависит от условий технологического процесса, а также от состояния (влажность, примеси) самого материала. Замечено, что при уменьшении скорости подачи волокна его удельный заряд растет.

При измерении полярных удельных зарядов с помощью измерительного конденсатора были определены скорости изменения потенциала измерительной пластины:

$$(\Delta U/\Delta t)_- = 23,0 \text{ в/сек и } (\Delta U/\Delta t)_+ = 7,5 \text{ в/сек.}$$

Учитывая, что  $q = 1,0$  мкк/г, по формуле (4) можно вычислить  $q_- = 1,5$  мкк/г и  $q_+ = 0,5$  мкк/г. Зная скорость подачи материала  $V$ , легко определить скорость образования зарядов

$$I_{\pm} \text{ (мкк/сек)} = q_{\pm} \text{ (мкк/г)} \cdot V \text{ (г/сек)} \quad (5)$$

В заключение отметим, что приведенные количественные данные весьма приближенные, так как они являются результатами кратковременных измерений. Электризуемость материалов зависит от многих переменных факторов и может изменяться в довольно широких пределах. Однако вышеизложенные способы измерения электростатических зарядов позволяют судить о порядке интересующих нас величин, чтобы мероприятия по борьбе с вредными проявлениями статического электричества можно было проводить на определенной количественной основе.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Дроздов Н. Г., Статическое электричество в промышленности. М.-Л., 1949.
2. Староба И., Шиморда И., Статическое электричество в промышленности. М.—Л., 1960.
3. Разработка технологии получения новых видов бумаги сухим способом. Отчет ВНИИБ по теме № 19. Л., 1957.
4. Егоров В. И., Удаление электростатических зарядов путем ионизации воздуха. «Электричество», 1956, № 12.

5. Полоник П. А., Хохлов В. Д., Приборы для измерения и нейтрализации зарядов статического электричества. «Легкая промышленность», 1958, № 12.

6. Орлов В. И. и др., Прибор для измерения электростатических зарядов. «Приборостроение», 1966, № 3.

7. Лебелъ и др., Статическое электричество при переработке химических волокон. «Легкая индустрия», М., 1966.

Поступила 26/V 1967 г.

## **ÕHUVUOLUGA TRANSPORDITAVATE KIUDMATERJALIDE ELEKTROSTAATILISTE LAENGUTE MÕÕTMISEST**

**L. Visnapuu, A. Guštšin, M. Lepik**

### **Resümee**

Artiklis on esitatud kaks meetodit staatiliste ruumlaengute mõõtmiseks, mis tekivad näiteks pikakiulise paberi valmistamisel. Kiudmaterjali elektriseerumine toimub hõõrdumise tagajärjel kraasimisel ja kraasitud materjali transportimisel õhuvoolus. Laadunud osakesed liituvad, mille tagajärjel paber tuleb ebaühtlase paksusega.

Staatilise laenguneutralisaatori elektriliste parameetrite määramiseks on vaja teada neutraliseeritava laengu tekkimise kiirust.

Esimese meetodi puhul mõõdetakse kollektor-elektroodile koguneva kiudaine hulk ja selle poolt laaditava kondensaatori potentsiaali muutumise kiirus ja arvutatakse erilaengute algebraline summa.

Teine meetod põhineb tasaparalleelse mõõtekondensaatori kasutamisel. Mõõtekondensaatori mõõdete ja toitepinge sobiva valikuga saab tagada, et kõik mõõtekondensaatorisse sisenevad laetud osakesed annavad oma laengu kondensaatori isoleeritud plaadile. Mõõdetakse viimase potentsiaali muutumise kiirus, määratakse kondensaatorit läbinud kiudaine hulk ja arvutatakse polaarne erilaeng.

Antud meetoditel mõõdeti pikakiulise paberi kuivmeetodil valmistamise käigus tekkivaid staatilisi laenguid kiudmaterjalidel.

## **ON MEASURING ELECTROSTATIC CHARGES OF FIBRES TRANSPORTED BY THE AIR CURRENT**

**L. Visnapuu, A. Gushchin, M. Lepik**

### **Summary**

The article deals with two methods of measuring static space charges arising, e. g., in the manufacture of long-fibred paper. The electrification of fibres proceeds as a result of friction in carding

and in the transport of the carded material in the air current. Charged particles unite and produce paper of uneven thickness.

To determine the electrical parameters of the neutralizer of static charges, it is necessary to know the rate of the rise of the charge to be neutralized.

In the case of the first method, the amount of fibrous matter which gathers on the collector electrode as well as the rate of the change in the potential of the condenser to be charged by the collector electrode are measured, and the algebraic sum of individual charges is calculated.

The second method is based on the application of a parallel plate measuring condenser. By the proper choice of the dimensions of the condenser and the supply voltage it is possible to ensure that all the charged particles entering the condenser impart their charge to the insulated plate of the condenser. The rate of the change in the potential of the plate is measured, the amount of fibres that have passed through the condenser is determined, and the individual polar charge is calculated.

The methods discussed were employed to measure static charges that arise on the fibrous matter when long-fibred paper is manufactured by the dry method.

## **НЕКОТОРЫЕ ПРОБЛЕМЫ В ТЕОРИИ ФОТОГРАФИЧЕСКОГО ОСЦИЛЛЯЦИОННОГО МЕТОДА, СВЯЗАННЫЕ С НАПРЯЖЕНИЕМ, ПОДАВАЕНЫМ НА ЭЛЕКТРОДЫ КЮВЕТЫ**

**Я. В. Юпрус, Я. Ю. Рейнет**

### **О роли напряжения, подаваемого на электроды кюветы**

При определении пределов измерения радиусов и зарядов отдельных частиц аэрозолей фотографическим осцилляционным методом, существенное значение имеет построение отдельных узлов прибора. Прежде всего следует поставить условия, которым должен удовлетворять тот или иной узел, после чего найти принципиально и технически наиболее целесообразное решение.

Вопросы построения кюветы, осветительной системы, оптической и фоторегистрирующих систем имеют технический характер, так как упомянутые системы являются лишь средством измерения элементов траектории частиц. Напротив, вопрос о напряжении, подаваемом на электроды кюветы, имеет с точки зрения измерения частиц принципиальное значение, так как напряжение определяет траекторию частиц.

Кроме возможности частичной компенсации уменьшения чувствительности по заряду, форма напряжения определяет возможность определения знака заряда, а частота напряжения и амплитуда определяют частоту и амплитуду траектории, а, следовательно, и ошибки измерения элементов траектории.

В ходе исторического развития фотографического осцилляционного метода использовался целый ряд напряжений различной формы. Уэльс и Герке использовали электрическое поле постоянной величины и с переменным направлением. Фукс и Петрянов применяли коммутацию электрического поля, когда напряжение различных знаков подавалось в течение различных промежутков времени и т. д. [6].

У построенного по образцу установки Главной геофизической обсерватории имени Воейкова прибора, работающего в Тартуском государственном университете, применяется напряжение

прямоугольной формы, причем положительный участок периода напряжения имеет в 2 раза большую амплитуду, но в 2 раза меньшую длительность, чем отрицательный участок. Такая форма напряжения обеспечивает необходимую для определения знака заряда асимметричность траектории и в то же время не имеет постоянной составляющей, вследствие чего частица не покидает поля зрения в боковом направлении. (В качестве источника прямоугольного напряжения используется триггерная схема, которая запускается блокинг-генератором с регулируемой частотой. Аналогичный электронный коммутатор напряжения изготовлен в договорном порядке Проблемной лабораторией аэроионизации и электроаэрозолей Тартуского государственного университета и для НИИТЛП-а [1].)

### Некоторые условия при выборе параметров напряжения

Осцилляционный метод предусматривает, чтобы напряжение было периодическим. Каждое периодическое напряжение имеет три характеристики: частоту, амплитуду и форму. Частота траекторий частиц определяется частотой напряжения и равна последней. Итак, одним из условий, которому должна удовлетворять частота напряжения, является то, чтобы она обеспечивала удержание в поле зрения подходящего числа периодов траектории для достижения достаточной точности измерения. В общем случае этим пределом снизу следует считать два периода. Итак, минимальное значение частоты выражается следующим образом:

$$f_{\min} = \frac{2V_{zs}}{h}, \quad (1)$$

где  $h$  — высота поля зрения и  $V_{zs}$  — скорость вертикального падения частицы.

Так, для предотвращения искажений вида траекторий рекомендуется работать при возможно более низкой частоте. Наилучшей следует считать частоту, даваемую выражением (1). В случае, когда в нашем распоряжении высота поля зрения  $h=5$  мм, для аэрозольных частиц с плотностью  $\gamma = 1 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$   $f_{\min}$  имеет следующие значения:

г (мкм)	1	2	3	4	5	6	8	10	12	14	16	18	20	
f <sub>мин</sub> (Гц)	0,05	0,20	0,43	0,80	1,2	1,7	3,0	4,7	6,9	9,3	12,2	15,4	19,1	
г (мкм)	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48
f <sub>мин</sub> (Гц)	23,0	27,4	32,1	37,3	43,0	48,8	55,0	61,6	69,0	76,0	83,5	92,0	100	104

Для одновременной регистрации большого числа частиц с различными радиусами на одном кадре и вследствие того, что реа-

лизация такого большого диапазона частот с технической стороны затруднена, можно при измерении меньших частиц пользоваться частотой, превышающей минимальную, так как пока выполнено условие  $\frac{2\pi l}{\alpha} \ll 1$  (2) (где  $\alpha = \frac{6\pi\eta r}{m}$ ,  $\eta$  — вязкость среды;

$m$ ,  $r$  — параметры частиц)), частица движется квазистационарно.

Под квазистационарным движением частицы подразумеваем режим движения, где горизонтальная скорость в каждый момент времени равна уравновешенной предельной скорости, обусловленной действующей в данный момент на частицу силой. В случае маленьких частиц можно ввести понятие максимальной частоты. Максимальной частотой можно считать частоту, при которой число зигзагов траекторий еще можно сосчитать. Если максимальным счетным числом в кадре считать 25 зигзагов, то значения  $f_{\max}$  следующие:

$r$ (мкм)	1	2	3	4	5	6
$f_{\max}$ (Гц)	1,5	5,0	10,7	20,0	30,0	42,5

При этом при использовании простых формул вычисления заряда, соответствующих квазистационарному режиму движения,  $f_{\max}$  ограничена условием, чтобы ошибки, ввиду уменьшения амплитуды, с повышением частоты (из-за инерции частиц) были ограничены. Оказывается, что начиная с 13 мкм мы должны ввести поправку за счет уменьшения чувствительности прибора по заряду, если хотим произвести измерения с точностью 0,5% (в случае ошибки 10% соответствующий предел 19 мкм). Амплитуда напряжения ограничена снизу условием, чтобы амплитуда траекторий частиц обладала достаточной величиной для достижения необходимой точности измерений, сверху же условием, чтобы амплитуда траекторий частиц не превышала используемую ширину поля зрения. Амплитудное значение напряжения не должно превышать также величины, при которой электрическое поле в кювете вызывает возникновение самостоятельного электрического разряда. При проведении конструктивных расчетов для каждой конкретной формы напряжения можно дать необходимую оценку величины амплитуды электрического поля для измерения частиц с определенными  $r$ ,  $q$  и  $q/m$ .

Рассмотрим теперь вопрос, связанный с формой напряжения. Можно использовать синусоидальное, прямоугольное или какое угодно другое периодическое напряжение. Следует отметить, что для решения большинства задач, кроме определения радиуса и абсолютной величины заряда каждой частицы, необходимо определить также знак заряда. До сих пор единственным методом определения знака заряда был выбор такой формы напряжения, чтобы при анализе соответствующей формы траектории можно было определить знак заряда.

Недостатком применения напряжения, содержащего постоянную составляющую, является быстрое исчезновение большей части частиц из поля зрения, что подтверждают все авторы, применявшие это напряжение. Поэтому в дальнейшем будем рассматривать только напряжения, у которых отсутствует постоянная составляющая. При графическом представлении этому условию отвечает условие равенства площадей положительного и отрицательного полупериодов.

Наиболее общий вид периодического напряжения

$$U(\omega t) = B_0 + M_1 \sin(\omega t + \psi_1) + \dots + M_n \sin(n\omega t + \psi_n) \quad , \quad (3)$$

где  $B_0$  — постоянная составляющая напряжения.

У нас:

$$B_0 = 0;$$

$M_n$  — амплитуда  $n$ -ной гармоники;

$\psi_n$  — начальная фаза  $n$ -ной гармоники в момент  $t=0$  [3].

Когда выполняется условие  $\frac{2\pi l}{a} \ll 1$ , горизонтальная скорость с точностью до постоянного множителя повторяет напряжение. Частица движется квазистационарно, ее инерция не оказывает заметного влияния и форма траектории свободна от искажений. Когда же условие  $\frac{2\pi l}{a} \ll 1$  не выполнено, амплитуды и фазы гармонических составляющих горизонтальной скорости уже зависят от величины  $\frac{2\pi l n}{a}$ , т. е. траектория частицы искажена вследствие инерции. Прежде всего искажения начинают влиять через высшие напряжения гармоники, для которых  $\frac{2\pi l n}{a}$  больше. Поэтому, исходя из этой точки зрения, следовало бы использовать напряжения, которые содержат по возможности меньше высших гармоник.

Напряжение, которое содержит только основную частоту

$$U(t) = M_1 \sin(\omega t + \psi_1), \quad (4)$$

было бы наилучшим, но оно не удовлетворяет условию определения знака заряда частицы.

Следующей возможностью было бы использование основной частоты и 2-й гармонической составляющей напряжения

$$U(t) = M_1 \sin(\omega t + \psi_1) + M_2 \sin(2\omega t + \psi_2). \quad (5)$$

В этом случае, выбирая подходящее  $\Delta\psi = \psi_2 - \psi_1$  и отношение  $\frac{M_2}{M_1}$ , можно получить форму напряжения, которая уже дает возможность определить знак заряда частицы.



Напряжение (5) позволяет при других равных условиях переместить возникновение искажений траектории, вызванных инерцией частиц, в направлении максимально больших частиц.

### Теоретическая оценка границ применимости напряжения

Под областью применимости напряжения с конкретной амплитудой, частотой и формой подразумеваем область удельных зарядов  $\frac{q}{m}$  (которая в то же время ограничена определенной областью радиусов), которыми мы можем измерить частицы с заданной точностью при других конкретных условиях (плотность частиц, высота поля зрения и пр.).

Дополнительно к искажениям формы траектории резкое уменьшение чувствительности по заряду при увеличении радиуса частиц кладет предел применимости прибора. Для оценки вопроса приведем уравнение траектории частицы в кювете.

Стационарная вертикальная скорость частицы в области Стокса, как известно, равна:

$$v_{zs} = \frac{g}{\alpha} = \text{const.} \quad (6)$$

Выберем теперь систему координат так, чтобы в момент  $t=0$  было бы  $x=0$  и  $z=0$  ( $z$  — ось, направленная вертикально вниз,  $x$  — ось вдоль электрического поля). Тогда

$$z(t) = v_{zs} t \quad (7)$$

или

$$z(t) = \frac{g}{\alpha} t.$$

Горизонтальная скорость частицы выражается уравнением

$$v'_x + \alpha v_x - \frac{q}{m} E(t) = 0, \quad (8)$$

решение которого имеет вид

$$v_x = v_{x_0} e^{-\alpha t} + \frac{q}{m} \int_0^t E(\tau) e^{\alpha(\tau-t)} d\tau, \quad (9)$$

где

$$v_{x_0} = v_x|_{t=0}$$

Используя полученное в общем виде выражение горизонтальной скорости, найдем траекторию частицы в случае синусоидаль-

ного электрического поля

$$E(t) = E_0 \sin \omega t. \quad (10)$$

Горизонтальная скорость

$$v_x(t) = v_{x0} e^{-\alpha t} + \frac{E_0 q}{m} e^{-\alpha t} \int_0^t \sin \omega \tau e^{\alpha \tau} d\tau.$$

Учитывая, что регистрация траекторий частиц производится после установления т. н. стационарного или периодического движения частицы, получим (после отбрасывания не интересующего нас члена, выражающего постоянное смещение, и быстро затухающего во времени компонента движения) для горизонтального смещения выражение

$$x(t) = - \frac{E_0 q}{\omega m \sqrt{\alpha^2 + \omega^2}} \sin \left( \omega t + \arctan \frac{\alpha}{\omega} \right). \quad (11)$$

Итак, в случае коммутации электрического поля по закону синуса, траектория частицы также синусоидальна; с амплитудой

$$A = \frac{E_0 q}{\omega m \sqrt{\alpha^2 + \omega^2}} \quad (12)$$

(т. е. с увеличением  $\omega$  уменьшается  $A$ ) и со сдвигом фазы относительно электрического поля

$$\varphi = \arctan \frac{\alpha}{\omega} \quad (13)$$

Таким образом, сдвиги фазы для горизонтальной скорости и горизонтального смещения относительно фазы электрического поля следующие:

	$\varphi_E$	$\varphi_{v_x}$	$\varphi_x$
Маленькие частицы	$0^\circ$	$0^\circ$	$90^\circ$
Большие частицы	$0^\circ$	$90^\circ$	$0^\circ$

В особом случае, когда используется основная частота и первая гармоника

$$E(t) = E_1 \sin \omega t + E_2 \sin 2\omega t, \quad (14)$$

мы можем по аналогии сразу записать уравнение траектории частицы

$$x(z) = - \left[ \frac{E_1 q}{m \omega \sqrt{\alpha^2 + \omega^2}} \sin \left( \frac{\omega \alpha}{g} z + \arctan \frac{\alpha}{\omega} \right) + \right. \\ \left. + \frac{E_2 q}{2 m \omega \sqrt{\alpha^2 + (2\omega)^2}} \sin \left( \frac{2\omega \alpha}{g} z + \arctan \frac{\alpha}{2\omega} \right) \right] \quad (15)$$

Проанализируем выражение (15)

Как видно, в случае коммутации электрического поля, даваемого выражением (14), траектория частицы также состоит из суммы двух периодических синусоидальных функций, одна из которых имеет частоту основной гармоники электрического поля, а вторая — частоту второй гармоники. При этом отношение амплитуд

$$\frac{A_1}{A_2} = \frac{E_1}{E_2} \frac{2\sqrt{\alpha^2 + (2\omega)^2}}{\sqrt{\alpha^2 + \omega^2}}. \quad (16)$$

Изменение разности фаз при увеличении частицы изменяет только форму траектории, но не уменьшает ее асимметричности, т. е. не мешает определению знака заряда.

В дополнение к сказанному, форма траектории при увеличении радиусов изменяется в связи с изменением отношения соответствующих амплитуд траекторий  $\frac{A_1}{A_2}$  основной частоты и второй гармоники.  $\frac{A_1}{A_2}$  изменяется в пределах от  $\frac{2E_1}{E_2}$  до  $\frac{4E_1}{E_2}$ . Выяснив, при каких  $\frac{A_1}{A_2}$  еще можно определить знак заряда, мы можем, учитывая вышесказанное, выбрать подходящее  $\frac{E_1}{E_2}$ . Если принять, что знак можно считать еще определенным, когда  $\frac{1}{3} < \frac{A_1}{A_2} < 3$ , тогда  $\frac{1}{6} < \frac{E_1}{E_2} < \frac{3}{4}$  так как

$$\frac{2E_1}{E_2} \leq \frac{A_1}{A_2} \leq \frac{4E_1}{E_2}$$

Как видно из уравнения (12), амплитуда траектории определяется, кроме амплитуды силы электрического поля  $E_0 q$ , через инерцию частиц, величинами  $m$ ,  $\omega$  и  $\alpha$ ; т. е. радиусом частиц (при применении  $f_{\min}$ ). Это как раз и обуславливает зависимость чувствительности по заряду от радиуса (а значит и от частоты).

Если горизонтальное движение частицы безынерционное, амплитуда траектории частицы при синусоидальной коммутации напряжения

$$A^0 = \frac{q E_0}{6 \pi q \omega} \quad (17)$$

Отношение действительной амплитуды к безынерционной

$$\frac{A}{A^0} = \frac{\alpha}{\sqrt{\alpha^2 + \omega^2}} \quad (18)$$

уменьшается с увеличением частицы.

Если для расчета заряда частицы использовать амплитуду траектории, на основании формулы (18) можем составить таблицу поправочных множителей или график и использовать их при вычислении заряда частиц по формулам безынерционного движения. Если начертить графики  $\frac{A}{A^0}(f_{\text{мин}})$  и  $\frac{A}{A^0}(2f_{\text{мин}})$ , мы можем очень легко определить, насколько быстрее падает амплитуда второй гармоники по сравнению с амплитудой основной частоты.

Относительная амплитуда основной частоты

$$\frac{A_1}{A_1^0} = \frac{\alpha}{\sqrt{\alpha^2 + \omega^2}} \quad (19)$$

и относительная амплитуда второй гармоники

$$\frac{A_2}{A_2^0} = \frac{\alpha}{\sqrt{\alpha^2 + (2\omega)^2}} \quad (20)$$

### О чувствительности по заряду при выборе напряжения

Когда нам нужно измерить аэрозольные частицы, которые несут на себе маленькие заряды, применимость прибора ограничивает не возможность определения знака, а описанное выше понижение чувствительности по заряду при увеличении радиуса, которое нельзя компенсировать увеличением электрического поля, так как это в принципе ограничено. Пусть мы имеем максимальное амплитудное значение электрического поля  $E_{\text{max}}$  (определяется геометрией электродов, расстоянием между ними, свойствами воздуха и т. д.).

Ясно, что в случае симметричного прямоугольного напряжения, где в течение всего промежутка времени к частице приложена максимальная сила, она сдвигается больше, чем в случае любого другого напряжения, где максимально используется только часть времени. При сравнении отдельных видов электрических полей с точки зрения чувствительности по заряду, следует в выражении величины электрического поля выразить все компоненты амплитуд через  $E_{\text{max}}$  и затем найти сделанную полем электрическими силами в течение периода работу  $S$  по перемещению частицы. Большой результат отвечает с точки зрения чувствительности по заряду более выгодной форме напряжения.

Добавим, что при использовании прямоугольных напряжений более целесообразным оказывается вместо измерения амплитуды траектории измерить угол наклона траектории, отвечающий какой-либо определенной величине электрического поля.

Определив предварительно радиус частицы и зная величину электрического поля и угол наклона траектории, мы можем из соответственно построенных номограмм сразу найти заряд частицы. В литературе такой расчетный метод определения заряда описан неоднократно и по некоторым данным полная ошибка при таком методе определения заряда для частиц с радиусом в промежутке от 3 до 38 мкм равна  $\pm 25\%$ .

Отметим, что используя формулы для квазистационарного движения (не учитывая поправок, вызванных инерцией), можно в случае измерения угла наклона с маленькой ошибкой продвигаться дальше, чем в случае измерения амплитуды (в первую очередь обрезаются острые вершины траектории). С другой стороны, если вследствие маленького заряда и больших искажений траектория имеет уже очень вытянутую зигзагообразную форму, оказывается более целесообразным измерять амплитуду и принимать в расчет соответствующие поправки, которые дает функция  $\frac{A}{A_0}$  (г). Можно составить таблицы, откуда можно непосредственно определить заряд частиц и где уже поправки, обязанные уменьшению чувствительности по заряду, приняты во внимание.

### **Определение знака заряда частицы с помощью световой отметки, синхронизированной напряжением**

Как видим, до сих пор распространенное требование, чтобы знак заряда частицы определялся выбором подходящей формы напряжения, предъявляет к форме напряжения, исходя из другой точки зрения, нежелательные требования. Применение напряжения симметричной формы было бы предпочтительнее при осуществлении коммутации как с технической, так и с принципиальной точки зрения. Для определения же знака заряда частицы мы должны применять какой-либо иной метод. Представляется, что при применении симметричной формы напряжения единственным реальным решением при определении знака заряда является световая отметка, синхронизованная с напряжением, подаваемым на электроды кюветы, т. е. в определенной части периода напряжения делается «световой знак» (сюда следует причислить также синхронизацию начала экспозиции напряжением, которое соответствует одному «световому знаку»). Отмечать легче всего с помощью прерывания светового луча, применяемого для регистрации частиц. Например, в случае применения синусоидальной формы напряжения можно было бы делать прерывание свето-

вого потока на вершине каждого полупериода напряжения одного знака. Следует добавить, что в случае такой отметки светом становится возможным также измерение радиусов незаряженных капель, т. е. отпадает необходимость в применении источника света с прерывистым световым потоком.

Проблема синхронизации напряжения световых меток не является непреодолимой. Синхронизацию можно осуществлять электрически или механически. При модуляции светового потока, синхронизованного напряжением электрическим путем, пришлось бы построить электронный блок, который прерывал бы питание осветительной лампы при определенной величине и определенном знаке напряжения на электродах кюветы. Крайне простой представляется, однако, механическая модуляция светового потока, а именно: на ось с механическим коммутатором напряжения пришлось бы добавить прерыватель светового потока.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Губенский, В. А., Фукс, Н. А., Определение размеров и зарядов отдельных частиц при электростатическом распылении жидких систем. — Сб. ст. НИИТЛП «Окраска изделий в электрическом поле». Изд-во «Химия», М., 1966.
2. Имянитов, И. М., Приборы и методы для изучения электричества атмосферы. Гос. изд. технико-теоретической литературы, М., 1957.
3. Лэнди, Р., Девис, Д., Албрехт, А., Справочник радионинженера. Гос. энерг. изд., М.—Л., 1961.
4. Махоткин, Л. Г., Соловьев, В. А., Атмосферно-электрические характеристики при туманах. Доклады на VI междуведомственной конференции. Изд. АН СССР, М., 1961.
5. Махоткин, Л. Г., Соловьев, В. А., Электрические заряды капель туманов и облаков. Труды ГГО, 1960.
6. Соловьев, В. А., Об одном методе измерений зарядов и размеров капель туманов. Труды ГГО, вып. 58 (180). Л., 1956.
7. Фукс, Н. А., Механика аэрозолей. Изд. АН СССР, М., 1955.

Поступила 10/I 1969 г.

## MÕNED PROBLEEMID FOTOGRAAFILISE OSTSILLATSIOONIMEETODI TEOORIAS, SEOSSES KÜVETI ELEKTROODIDELE ANTAVA PINGEGA

J. Üprus, J. Reinet

### Resümee

Töös on välja töötatud tingimused, mida peab rahuldama küveti elektroodidele antav pinge aerosooli üksikute osakeste laengute ja raadiuste määramisel ostsillatsioonimeetodil. On ära toodud kaalutlused pinge kuju, amplituudi ja sageduste piirkonna valikuks.

On analüüsitud pinge rakendatavuse piirkonna teoreetilist hindamist nii trajektoori kuju moonutuste kui ka laengutundlikkuse seisukohalt. Käsitletud leiavad kõik pinge teoreetilise hindamise käigus kerkivad iseloomulikud probleemid.

## **SOME PROBLEMS OF THE THEORY OF THE PHOTOGRAPHIC OSCILLATION METHOD CONNECTED WITH THE VOLTAGE APPLIED TO THE ELECTRODES OF THE CUVETTE**

J. Uprus, J. Reinet

### **S u m m a r y**

The article discusses the requirements to be satisfied by the voltage applied to the electrodes of the cuvette when establishing the charges and radii of individual aerosol particles by the oscillation method. Considerations determining the choice of the form, amplitude and frequency range of voltage have been enumerated. Theoretical evaluation of the range of voltage applicability has been analyzed from the point of view of distortions of the form of the trajectory as well as charge sensitiveness. All the specific problems arising in the process of theoretical evaluation of the charge have been dealt with.

## ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ ЗАРЯДА ЧАСТИЦ АЭРОЗОЛЕЙ ОСЦИЛЛЯЦИОННЫМ МЕТОДОМ

М. М. Фишер

Рассмотрим определение зарядов частиц аэрозолей в границах применимости закона Стокса в специальном случае использования в осцилляционном методе [1, 3, 4] электрического поля симметричной прямоугольной формы

$$E(t) = \frac{4E_0}{\pi} \sum_{k=0}^{\infty} \frac{\sin(2k+1)\omega t}{2k+1} = \begin{cases} E_0, & \text{когда } nT \leq t \leq (2n+1)\frac{T}{2} \\ -E_0, & \text{когда } (2n-1)\frac{T}{2} \leq t \leq nT, \end{cases} \quad (1)$$

которое является наилучшим с точки зрения чувствительности по заряду. Общеизвестно определение радиуса и заряда частицы по вертикальному компоненту скорости и углу наклона траектории [1, 3]. Радиус частицы в этом случае определяется на основе формулы

$$r = \left( \frac{9\eta V_y}{2\gamma g} \right)^{1/2}, \quad (2)$$

где  $V_y$  — вертикальный компонент скорости частицы,  $\eta$  — вязкость среды,  $\gamma$  — плотность частицы,  $g$  — ускорение силы тяжести. В дальнейшем радиус частицы будем считать известным, и рассмотрим определение ее заряда с помощью амплитуды ее колебаний в направлении электрического поля. Это оказывается необходимым, если условие квазистационарности  $\frac{\omega}{\alpha} = \frac{2\pi f}{\alpha} \ll 1$ , где  $\alpha = \frac{6\pi\eta r}{m}$ ,  $m$  — масса частицы, не выполняется и траектория частицы в такой степени искажена, что величину угла наклона траектории измерить невозможно [2].

Выбирая ось  $x$  по направлению однородного периодического электрического поля, мы можем записать дифференциальное уравнение, описывающее колебания частицы в направлении электрического поля в виде



$$m \frac{d^2x}{dt^2} + 6\pi\eta r \frac{dx}{dt} - qE(t) = 0, \quad (3)$$

где  $q$  — заряд частицы. Уравнение (3) приближенное, сопротивление среды считается безынерционным [4]. Решая уравнение (3), найдем закон движения частицы в электрическом поле  $x = x(r, q, t)$ , из которого можно определить амплитуду колебаний  $A = A(r, q, T)$ . Зная величины  $r$  и  $T$  и измеряя на фотограмме амплитуду  $A$ , можно найти заряд частицы.

Уравнение (3) проще всего решается следующим методом: проинтегрируем уравнение отдельно по двум промежуткам времени

$$0 \leq t \leq \frac{T}{2} \text{ и } \frac{T}{2} \leq t \leq T,$$

в течение которых напряженность поля  $E(t)$  постоянна и равна  $E_0$  или  $-E_0$ . Затем свяжем полученные выражения условиями непрерывности и периодичности. В этом случае полученное выражение описывает только сформированные колебания, не описывая переходного процесса. Уравнение (3) можно представить следующим образом:

$$\left. \begin{aligned} \frac{d^2x_1}{dt^2} + \alpha \frac{dx_1}{dt} - \beta E_0 &= 0 \\ \frac{d^2x_2}{dt^2} + \alpha \frac{dx_2}{dt} + \beta E_0 &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Здесь

$$x = \begin{cases} x_1, & \text{когда } 0 \leq t \leq \frac{T}{2} \\ x_2, & \text{когда } \frac{T}{2} \leq t \leq T \end{cases}; \quad \alpha = \frac{6\pi\eta r}{m}; \quad \beta = \frac{q}{m} \quad (5)$$

Общие решения уравнений (4) будут

$$\left. \begin{aligned} x_1 &= \frac{\beta E_0}{\alpha} t + A_1 \exp(-\alpha t) + B_1 \\ x_2 &= -\frac{\beta E_0}{\alpha} t + A_2 \exp(-\alpha t) + B_2 \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

На основе условия непрерывности

$$\left. \begin{aligned} x_1\left(\frac{T}{2}\right) &= x_2\left(\frac{T}{2}\right) \\ \frac{dx_1}{dt}\left(\frac{T}{2}\right) &= \frac{dx_2}{dt}\left(\frac{T}{2}\right) \end{aligned} \right\}$$

постоянные  $A_2$  и  $B_2$  выражаются через  $A_1$  и  $B_1$ . Получим

$$\left. \begin{aligned} A_2 &= A_1 - \frac{2\beta E_0}{\alpha^2} \exp\left(\frac{\alpha T}{2}\right) \\ B_2 &= B_1 + \frac{\beta E_0 T}{\alpha} + \frac{2\beta E_0}{\alpha^2} \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

Используя условие периодичности

$$\left. \begin{aligned} x_1(0) &= x_2(T) \\ \frac{dx_1}{dt}(0) &= \frac{dx_2}{dt}(T) \end{aligned} \right\},$$

получим

$$\left. \begin{aligned} A_1 - A_2 \exp(-\alpha T) - \frac{2\beta E_0}{\alpha^2} &= 0 \\ B_2 - B_1 - \frac{\beta E_0 T}{\alpha} - \frac{2\beta E_0}{\alpha^2} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

С помощью выражений (7) и (8) найдем

$$\left. \begin{aligned} A_1 &= \frac{2\beta E_0}{\alpha^2} \frac{1}{1 + \exp\left(-\frac{\alpha T}{2}\right)} \\ A_2 &= -\frac{2\beta E_0}{\alpha^2} \frac{\exp\left(\frac{\alpha T}{2}\right)}{1 + \exp\left(-\frac{\alpha T}{2}\right)} = -A_1 \exp\left(\frac{\alpha T}{2}\right) \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

Уравнения, связывающие константы  $B_1$  и  $B_2$ , идентичны.  $B$  — константа, связанная с начальным положением частицы. Задавая величину  $B_1$ , мы фиксируем также величину  $B_2$  и наоборот.

Общее решение (6) системы уравнений (4) на основании (8) и (9) можно теперь записать в виде

$$\left. \begin{aligned} x_1 &= \frac{\beta E_0 t}{\alpha} + \frac{2\beta E_0}{\alpha^2} \frac{\exp(-\alpha t)}{1 + \exp\left(-\frac{\alpha T}{2}\right)} + B_1 \\ x_2 &= -\frac{\beta E_0 t}{\alpha} - \frac{2\beta E_0}{\alpha^2} \frac{\exp\left(\frac{\alpha T}{2} - \alpha t\right)}{1 + \exp\left(-\frac{\alpha T}{2}\right)} + B_1 + \frac{\beta E_0 T}{\alpha} + \frac{2\beta E_0}{\alpha^2} \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

Обозначив

$$a = \frac{\beta E_0}{\alpha}; \quad b = \frac{2\beta E_0}{\alpha^2 \left[1 + \exp\left(-\frac{\alpha T}{2}\right)\right]}; \quad c = \frac{\beta E_0}{\alpha} \left[T + \frac{2}{\alpha}\right], \quad (11)$$

систему (10) можно представить в виде

$$\left. \begin{aligned} x_1 &= at + b \exp(-\alpha t) + B_1 \\ x_2 &= -at - b \exp\left(\frac{\alpha T}{2} - \alpha t\right) + B_1 + C \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

Уравнения (12) описывают колебания заряженной частицы в направлении электрического поля. Найдем из них двойную амплитуду колебаний частицы  $D$ .

$$D = |x_1(t_1) - x_2(t_2)|,$$

где  $t_1$  и  $t_2$  — моменты времени, когда соответственно  $x_1$  и  $x_2$  экстремальны:

$$\left. \begin{aligned} t_1 &= \frac{1}{\alpha} \ln \frac{ab}{a} \\ t_2 &= \frac{1}{\alpha} \ln \frac{ab}{a} + \frac{T}{2} \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

Более точный анализ показывает, что в момент  $t_1$   $x_1(t)$  имеет минимум, а в момент  $t_2$   $x_2(t)$  максимально. Учитывая это, мы можем выразить  $D$  следующим образом:

$$D = x_2(t_2) - x_1(t_1)$$

Из формул (12) и (13) получим

$$D = C - \frac{2a}{\alpha} \left[ \frac{\alpha T}{4} + \ln \frac{ab}{a} + 1 \right]$$

Используя ранее введенные обозначения (11), получим

$$D = \frac{2\beta E_0}{\alpha^2} \left[ \ln \left( 1 + \exp \left\{ \frac{\alpha T}{2} \right\} \right) - \ln 2 - \frac{T\alpha}{4} \right] = \frac{2\beta E_0}{\alpha^2} \ln \operatorname{ch} \frac{\alpha T}{4}$$

При условии квазистационарности  $\frac{\omega}{\alpha} \ll 1$  последняя формула дает двойную амплитуду безынерционно колеблющейся частицы. Поскольку  $\beta = \frac{q}{m}$  и  $D = 2A$ , то величина заряда частицы выражается через амплитуду колебаний следующим образом:

$$q = \frac{Am\alpha^2}{E_0 \ln \operatorname{ch} \frac{\alpha T}{4}} \quad (14)$$

Учитывая, что

$$m = \frac{4}{3} \pi r^3 \gamma \quad \text{и} \quad \alpha = \frac{6\pi\eta r}{m},$$

можно выразить величину заряда частицы через радиус, амплитуду колебаний и частоту электрического поля  $f$ :

$$q = \frac{27\pi A\eta^2}{E_0 r \gamma \ln \operatorname{ch} \frac{9\eta}{8\gamma r^2 f}} \quad (15)$$

Формулу (14) можно использовать и для определения величины заряда таких частиц, для которых сопротивление среды выражается формулой Кенингема

$$F_M = - \frac{6\pi\eta r^2 V}{r + A\lambda},$$

где  $\lambda$  — средняя длина свободного пробега молекул воздуха.  $A$  — численный коэффициент [4]. В этом случае следует только величину  $\alpha$  взять из формул (14) в виде

$$\alpha = \frac{6\pi\eta r^2}{m(r + A\lambda)} = \frac{9\eta}{2\gamma(r + A\lambda)} \quad (16)$$

Величину радиуса частицы в формуле (16) следует найти предварительно с помощью вертикального компонента ее скорости следующим образом:

$$r = \frac{1}{2} \left[ \left( A^2 \lambda^2 + \frac{18V_y \eta}{\gamma g} \right)^{1/2} - A\lambda \right]$$

Что касается фазового сдвига между колебательным движением частицы и изменениями напряженности электрического поля, то можно показать, что в рассмотренном случае он не превосходит  $\frac{\pi}{2}$ . Очевидно, что разность фаз

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi t_1}{T} = \frac{2\pi}{T\alpha} \ln \frac{\alpha b}{a}$$

На основе сделанных обозначений (11) найдем

$$\Delta\varphi = \pi + \frac{2\pi}{T\alpha} \left[ \ln 2 - \ln \left( 1 + \exp \left\{ \frac{\alpha T}{2} \right\} \right) \right] \quad (17)$$

Разность фаз  $\Delta\varphi$  увеличивается с увеличением радиуса частицы. Если рассчитать по формуле (17) предельное значение разности фаз при стремлении радиуса частицы к бесконечности, получим

$$\lim_{\alpha \rightarrow 0} \Delta\varphi = \frac{\pi}{2}.$$

Такой же результат для предельного значения разности фаз получим и при  $T \rightarrow 0$ .

При использовании напряженности поля симметричной прямоугольной формы знак заряда частицы на основании анализа формы траектории определить нельзя. Для определения знака заряда частицы можно использовать прерывание светового потока, освещающего частицу, синхронно с изменениями электрического поля, причем фаза электрического поля в момент прерыва-

ния должна быть определенной [2]. Так как разность фаз  $\Delta\varphi$  никогда не превышает  $\frac{\pi}{2}$  то световой поток можно прерывать в течение каждого периода в промежутках  $(\frac{T}{4}, \frac{T}{2})$  или  $(\frac{3T}{4}, T)$  Используя такой прерывистый световой поток, на фотографии получим световые метки, которые для отрицательных частиц всегда находятся в части траектории, соответствующей противоположному по сравнению с положительно заряженными частицами движению.

Следует отметить, что рассмотренный выше метод для нахождения амплитуды колебаний частицы целесообразно применить в каких угодно специальных случаях кусочно постоянного периодического электрического поля.

Если в уравнение (3) подставить в соответствующей форме ряд Фурье напряженности поля, то можно найти  $x=x(t)$  как функцию, содержащую бесконечные суммы. Для нахождения амплитуды колебаний следует вычислить экстремальные значения этих сумм, что не всегда просто сделать.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Краав, В., Об определении заряда и размеров капельного аэрозоля. ТГУ. Дипломная работа. Тарту, 1961.
2. Юпрус, Я., Некоторые вопросы, связанные с определением радиусов и зарядов частиц аэрозолей осцилляционным методом. ТГУ Дипломная работа. Тарту, 1966.
3. Спурный, К., Йех, Ч., Седлачек, Б., Шторх, Аэрозоли. Атомиздат, 1964.
4. Фукс, Н. А., Механика аэрозолей. Изд-во АН СССР М., 1955.

Поступила 15/I 1969 г.

## AEROSOOLIOSAKESE LAENGU MÄÄRAMISEST OSTSILLATSIOONIMEETODIL

M. Fischer

Resümee

Artiklis vaadeldakse aerosooliosakese laengu määramist ostsillatsioonimeetodil ta elektriväljasihiliste võnkumiste amplituudi põhjal Stokes'i seaduse kehtivuse piirkonnas nelinurkse sümmeetrilise elektrivälja kasutamise erijuhul. Osakese elektriväljasihilisi võnkumisi kirjeldava diferentsiaalvõrrandi lahendamisel on kasutatud matemaatilist meetodit, mis viib kergesti sihile mistahes tükati konstantse elektrivälja rakendamise juhul.

Saadud valemid on rakendatavad osakeste laengute arvutamisel, samuti ka ostsillatsioonimeetodi laengutundlikkuse hindamisel ning vastava mõõteseadme konstrueerimisel.

## **ON DETERMINING THE AEROSOL PARTICLE CHARGE BY THE OSCILLATION METHOD**

**M. Fischer**

### **S u m m a r y**

The article deals with the determination of the charge of an aerosol particle by the oscillation method on the basis of the amplitude of oscillations directed toward the electric field within the limits of the validity of Stokes' law in a special case of applying a quadrangular symmetric electric field. In solving the differential equation describing oscillations directed toward the electric field a mathematical method has been used which readily helps to reach the aim in the case of an interruptedly constant electric field.

The formulae obtained are applicable to the calculation of the particle charges, the evaluation of the charge sensitivity of the oscillation method as well as the design of a respective measuring device.

## О СОЗДАНИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИ ЗАРЯЖЕННЫХ АЭРОЗОЛЕЙ В КАМЕРАХ

Л. Ю. Виснапуу, Я. Ю. Рейнет

Некоторые аэрозольные камеры и отдельные процессы, происходящие в них, описаны в литературе [1—3]. В данной статье рассмотрена экспериментальная камера,\* предназначенная для исследования действия искусственно заряженных и не заряженных аэрозолей на животных. Приведены результаты измерений плотности объемного заряда в камере при различных режимах работы аэрозольного генератора.

### Устройство и принцип действия аэрозольной камеры

Аэрозольная камера состоит из собственно камеры и аэрозольного генератора.

Камера представляет собой прямоугольный металлический каркас, обшитый листами из дюралюминия, оргстекла и винипласта. Вертикальная перегородка из медной сетки делит камеру на два отсека 1 а и 1 б (рис. 1). Отсек 1 а служит помещением для подопытных животных, а отсек 1 б — вспомогательный, для выделения аэрозоля мелкой дисперсности, пригодной для ингаляции. Стенка отсека 1 а, противоположная перегородке, снабжена дверкой для помещения и вывода животных из камеры. Дверка и противоположная ей стенка отсека 1 б имеют отверстия, закрывающиеся заслонками и служащие для взятия проб аэрозоля или измерения плотности заряда в камере. К упомянутой стенке отсека 1 б прикреплен вентилятор типа ВН-8, создающий поток воздуха из отсека 1 б в отсек 1 а. Сверху оба отсека покрыты металлическими крышками. Как дверка, так и крышки камеры снабжены шарнирами и поролоновыми уплотнениями и закрываются при помощи зажимов. Крышка отсека 1 б имеет отверстие для направления потока аэрозоля от генератора в ка-

---

\* Работа выполнена по хоздоговору с Московской ветеринарной академией.

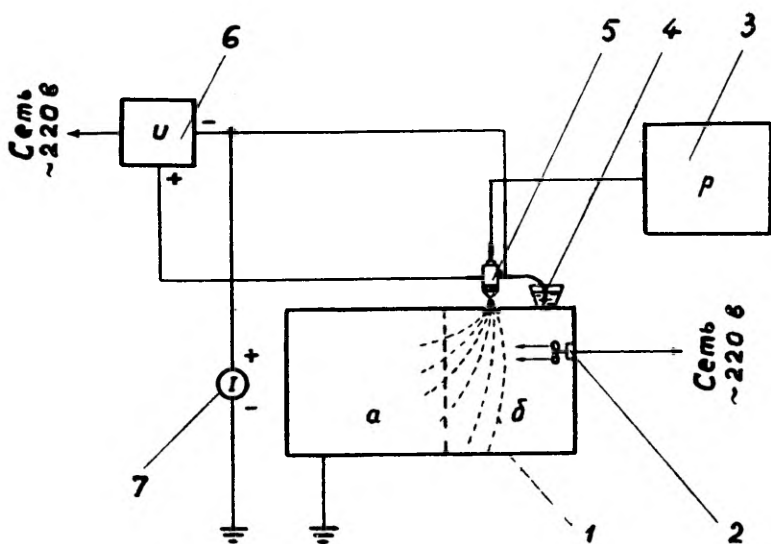


Рис. 1. Принципиальная схема аэрозольной камеры. 1 — камера (а — основной отсек, б — вспомогательный отсек); 2 — вентилятор; 3 — источник сжатого воздуха; 4 — резервуар жидкости; 5 — распылитель; 6 — источник индуцирующего напряжения; 7 — измеритель силы тока.

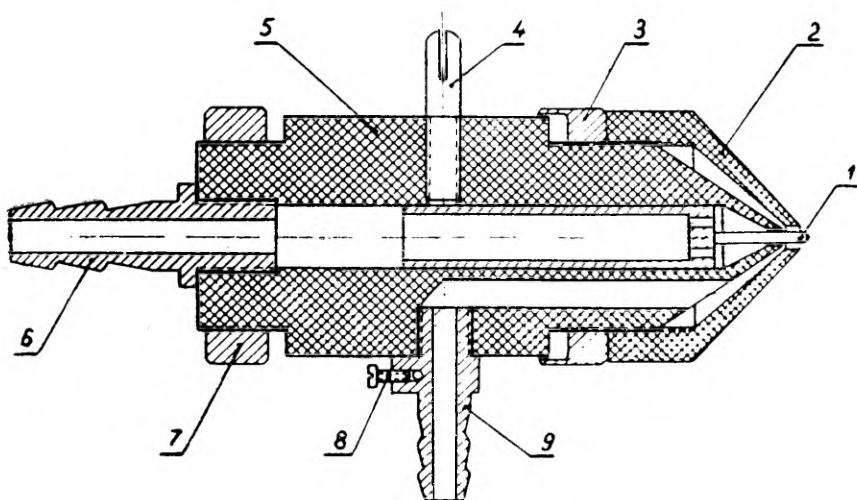
меру. К этой же крышке прикреплен кронштейн для держателя электроаэрозольного генератора. Посредством кронштейна и держателя генератор 5 установлен над соответствующим отверстием крышки. Держатель вместе с электроаэрозольным генератором могут перемещаться по кронштейну и фиксируются в нужном положении при помощи зажимного винта.

Аэрозольный генератор состоит из пневматического распылителя, питаемого от источника сжатого воздуха, резервуара распыляемой жидкости и источника индуцирующего напряжения.

На рис. 2 показан продольный разрез распылителя. Он имеет осесимметричную конструкцию и содержит корпус 5, индуцирующий электрод 1, насадку 2 с контргайкой 3, контакт 4 для фиксации индуцирующего электрода и подачи напряжения, штуцер 6 для подачи сжатого воздуха и штуцер 9 для подачи распыляемой жидкости с винтом 8 для крепления провода заземления. Корпус 5 снабжен прижимной гайкой 7 для прикрепления распылителя к держателю.

Насадка 2 и корпус 5 образуют между собой кольцевую полость, которая соединена со штуцером 9 посредством канала. Индуцирующий электрод 1, с одной стороны, и суженная часть корпуса 5 и отверстие насадки 2, с другой, образуют кру-





Р и с. 2. Разрез распылителя. 1 — индуцирующий электрод; 2 — насадка; 3 — контргайка; 4 — контакт; 5 — корпус; 6 — штуцер сжатого воздуха; 7 — прижимная гайка; 8 — винт; 9 — штуцер жидкости.

говые щели, составляющие распыляющее сопло. Упомянутая кольцевая полость между корпусом 5 и насадкой 2 сужается к центральной части, образуя коническую щель, ширина которой может регулироваться поворотом насадки 2. При работе распылителя этим изменяется скорость подачи распыляемой жидкости.

Источником индуцирующего напряжения служит обыкновенный выпрямитель сетевого напряжения. Выпрямитель снабжен измерительным прибором, позволяющим следить за величиной индуцирующего напряжения.

Принцип действия распылителя заключается в следующем. Сжатый воздух, поданный через штуцер 6 в полость корпуса 5, проходит через отверстия в индуцирующем электроде 1 и распыляющее сопло. Поток воздуха через круговые щели распылительного сопла создает в вышеуказанной кольцевой полости разрежение, благодаря чему по каналу, штуцеру 9 и соответствующему шлангу из резервуара подсасывается жидкость, которая увлекается струей воздуха в виде трубчатого слоя по стенке отверстия насадки 2 и при выходе из сопла распыливается.

Если на индуцирующий электрод 1 через контакт 4 подан потенциал относительно распыливаемой жидкости, которая обычно заземляется через штуцер 9, то на внутренней поверхности кольцевого слоя жидкости при выходе из сопла индуцируются заряды, в результате чего частицы распыленной жидкости электрически заряжены. Так как зарядка основана на применении электростатической индукции, то при подаче на индуцирующий элект-

род постоянного потенциала частицы заряжены преимущественно униполярно, т. е. с преобладанием заряда определенного знака. При этом в случае положительного потенциала частицы имеют преобладающий отрицательный заряд и наоборот. Если же на индуцирующий электрод подан переменный потенциал, то частицы заряжены биполярно, т. е. положительно и отрицательно заряженных частиц создается примерно в одном и том же количестве. Без подачи потенциала на индуцирующий электрод распылитель работает как обыкновенный пневматический распылитель. В последнем случае может иметь место самопроизвольная зарядка частиц (баллоэлектрический и пр. эффекты), причем степень и преимущественная полярность зарядки при заданном распылителе зависят от физико-химических свойств распыляемой жидкости.

Аэрозольная камера в целом работает следующим образом. Конусообразно расширяющаяся струя воздуха с частицами распыленной жидкости от распылителя направляется в камеру, частично захватывая прилегающий к струе воздух, бьет в сборник или нижнюю часть камеры и расходится в стороны, образуя обратный поток воздуха вверх. При этом крупнейшие частицы распыла, обладая наибольшей инерцией, ударяются о поверхность сборника или нижнего основания камеры. В отсеке 1 б камеры (рис. 1) потоки, созданные распылителем и вентилятором, складываются, и воздух с мельчайшими аэрозольными частицами направляется по центральной части камеры в отсек 1 а. По периферийной части камеры имеет место обратный поток воздуха в отсек 1 б. Турбулентные течения потоков воздуха действуют на взвешенные частицы, распределяя их более равномерно по всему объему камеры. Воздух, нагнетаемый распылителем в камеру, обуславливает повышение давления в ней, и он вытекает из камеры через имеющиеся щели и отверстия. При установившемся режиме работы установки, когда давление воздуха в камере постоянно, масса воздуха, вытекающего из камеры за единицу времени, равна массе воздуха, подаваемого в камеру за то же время. Если вытекание воздуха из камеры через щели и отверстия по каким-либо причинам недопустимо (например, в случае создания аэрозолей из ядовитых веществ), то камера должна быть сквозного типа и снабжена системой вытяжной вентиляции, обеспечивающей в ней несколько пониженное давление воздуха.

## **Основные технические данные аэрозольной камеры**

### **А. Аэрозольный генератор**

При питании распылителя от источника сжатого воздуха с избыточным давлением 2 ат

расход воздуха 0,6 г/сек;  
 расход жидкости регулируемый от 0 до 2,8 г/сек;  
 массовые медианные диаметры частиц<sup>1</sup> при различном расходе  
 жидкости (воды) приведены в табл. 1.

Таблица 1

Дисперсность аэрозоля при распылении воды

Расход воды, г/сек	0,3	1,2	2,0	2,5
Массовый медианный диаметр частиц, мкм	10	15	30	40

Выходное напряжение источника индуцирующего напряжения  
 регулируемое от 0 до +, — или ~ 500 в.

Ток короткого замыкания между выходными клеммами источ-  
 ника индуцирующего напряжения 1 ма.

Оптимальное значение<sup>2</sup> индуцирующего напряжения  
 400 500 в.

Удельный заряд частиц при расходе жидкости (воды) 0,5 г/сек  
 5 мкк/г.

## Б. Камера

Габариты камеры  $1,5(0,8)^3 \times 0,6 \times 0,7$  м.

Скорость воздушного потока, создаваемого вентилятором, в  
 средней части камеры 1,3 м/сек.

Данные по полярным плотностям заряда аэрозоля по отдель-  
 ным промежуткам подвижностей частиц (частные плотности за-  
 ряда) при некоторых режимах работы аэрозольной камеры пред-  
 ставлены в табл. 2. Приведенные данные вычислены на основе  
 результатов измерения плотности заряда аэрозоля в камере по-  
 средством счетчика аэроионов типа САИ-ТГУ-66 [4]. При всех  
 измерениях распыливалась водопроводная вода с постоянным  
 расходом, равным 0,3 г/сек. Исследуемый аэрозоль забирался в  
 средней части основного отсека камеры через металлическую тру-  
 бу диаметром 46 мм и длиной 1 м. Скорость аспирации состав-  
 ляла 450 см<sup>3</sup>/сек. Частные плотности заряда вычислены по фор-  
 мулам:

<sup>1</sup> Определены по результатам микроскопического измерения в струе рас-  
 пыла на расстоянии 1 м от распылителя.

<sup>2</sup> При меньших и больших значениях индуцирующего напряжения удель-  
 ный заряд частиц распыла меньше, чем при оптимальном напряжении.

<sup>3</sup> В скобках указана длина основного отсека камеры.

$$\varrho(0,5; \infty) = 2Z(0,63) - Z(0,32);$$

$$\varrho(0,005; 0,5) = 2[Z(0,0063) - Z(0,63)] - [Z(0,0032) - Z(0,32)];$$

$$\varrho(0,001; 0,005) = Z(0,0001) + Z(0,0032) - 2Z(0,0063);$$

где  $\varrho(k_1, k_2)$  — плотность заряда частиц с подвижностью, заключенной в промежутке подвижностей  $(k_1, k_2)$ ;  $Z(k_0)$  — условная плотность заряда (заряд, уловленный счетчиком из единицы объема воздуха) при предельной подвижности счетчика  $k_0$ .

Таблица 2

**Частные плотности заряда частиц в аэрозольной камере при некоторых режимах работы**

Промежутки подвижностей частиц, см <sup>2</sup> в <sup>-1</sup> сек <sup>-1</sup>	Частная плотность заряда $\varrho$ , элем. зар. см <sup>-3</sup>					
	Отрицательная зарядка частиц (V = +500 в)				Без искусственной зарядки частиц <sup>1</sup> (V = 0)	
	при неработающем вентиляторе		при работающем вентиляторе			
	$\varrho-$	$\varrho+$	$\varrho-$	$\varrho+$	$\varrho-$	$\varrho+$
(0,5; $\infty$ ) Легкие частицы	$0,4 \cdot 10^6$	—	$0,5 \cdot 10^6$	—	$0,3 \cdot 10^4$	$0,4 \cdot 10^4$
(0,005; 0,5) Средние частицы	$2,7 \cdot 10^5$	$1,0 \cdot 10^6$	$2,9 \cdot 10^6$	$1,1 \cdot 10^6$	$0,4 \cdot 10^6$	$0,5 \cdot 10^6$
(0,001; 0,005) <sup>2</sup> Тяжелые частицы	$1,3 \cdot 10^6$	$0,9 \cdot 10^6$	$1,3 \cdot 10^6$	$0,3 \cdot 10^6$	$1,7 \cdot 10^6$	$2,1 \cdot 10^6$

<sup>1</sup> В этом случае работа вентилятора не оказывает практически заметного влияния на значения плотности заряда.

<sup>2</sup> В соответствующие значения частной плотности заряда частично входят и заряды частиц с меньшей подвижностью.

### Некоторые общие замечания

На основании наблюдений и измерений, осуществленных при испытании описанной аэрозольной камеры, можно заключить следующее.

1. При получении электрически заряженных аэрозолей посредством электростатической индукции, не применяя специальных униполяризирующих устройств, частицы заряжены не униполярно, а по существу биполярно. Отношение плотности заряда одной полярности к плотности заряда другой полярности в общем различно для разных промежутков подвижностей частиц.

2. При распылении жидкостей самопроизвольно образуются заряженные частицы. В случае водопроводной воды плотность положительных зарядов аэрозоля в камере превосходит плотность отрицательных зарядов. Для других жидкостей картина может быть иная.

3. Установившаяся стационарная концентрация аэрозоля при одном и том же приходе в камеру при искусственно заряженных частицах (как униполярных, так и биполярных) значительно меньше, чем при искусственно не заряженных частицах. Это обусловлено большими потерями (неустойчивостью) заряженных частиц.

4. Создание добавочного воздушного потока в камере (работа вентилятора) способствует более равномерному распределению аэрозоля по объему камеры и приводит к увеличению отношения полярной плотности преобладающего по количеству заряда к полярной плотности противоположного заряда.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Wegener, W., Quambusch, D., Zusammenhang zwischen dem Raumklima und der elektrischen Aufladung des Spinnmaterials. Forschungsberichte des Landes Nordrhein-Westfalen Nr. 897. Köln und Opladen, 1960.

2. Китаев, А. В., К применению ионизированного воздуха и униполярных аэрозолей. ЖФХ, 1962, т. 36, № 6, 1136—1139.

3. Ярных, В. С., Применение аэрозолей в ветеринарии. М., Сельхозиздат, 1962, 67—78.

4. Таммет, Х. Ф., Счетчик аэроионов САИ-ТГУ-66. — В настоящем выпуске.

Поступила 12/III 1968 г.

## ELEKTRILISELT LAETUD AEROSOOLIDE TEKITAMISEST JA KÄITUMISEST KAMBRIS

L. Visnapuu, J. Reinet

### Resümee

On kirjeldatud eksperimentaalne kamber, mis on ette nähtud kunstlikult laetud ja laadimata aerosoolide mõju uurimiseks loomadel. On toodud aerosooligeneraatori erinevate töörežiimide puhul esinevad ruumilaengu tiheduste mõõtmise tulemused.

Aerosooli tasakaaluline kontsentratsioon aerosooligeneraatori jääva tootlikkuse juures on kunstlikult laetud (nii unipolaarselt, kui ka bipolaarselt) aerosoolide korral tunduvalt väiksem kui kunstlikult laadimata aerosoolide korral. See on tingitud laetud osakeste suurematest kadudest.

# **ON THE GENERATION AND BEHAVIOUR OF ELECTRICALLY CHARGED AEROSOLS IN A CHAMBER**

**L. Visnapuu, J. Reinet**

## **S u m m a r y**

The author describes an experimental chamber designed to study the effect of uncharged as well as artificially charged aerosols on animals inclosed in the chamber.

The measuring results of space-charge densities under various working regimens of the aerosol generator have been reported.

In the case of artificially charged aerosols (having either a unipolar or bipolar charge) and under permanent productivity conditions of the aerosol generator, the equilibrium concentration of aerosols in the chamber is considerably smaller than in the case of uncharged aerosols. This is due to great losses of charged particles.

## О РАБОЧЕМ РЕЖИМЕ АЭРОЗОЛЬНЫХ ИНГАЛЯТОРОВ

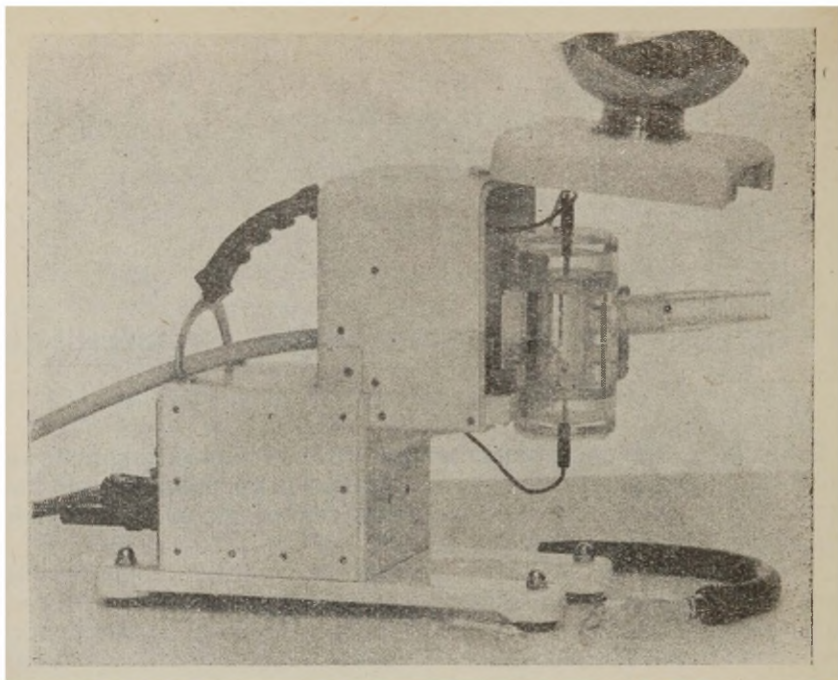
Л. Ю. Виснапуу, А. К. Йентс

В медицине распространен метод ингаляционной терапии, при котором лекарственные препараты в диспергированном виде вносятся в организм и осаждаются на поверхности слизистой оболочки дыхательных путей и в легких.

Для создания аэрозолей и электроаэрозолей с целью применения их в медицинской практике в Тартуском государственном университете разработан целый ряд ингаляционных устройств, генераторов электроаэрозолей, успешно используемых в клиниках при лечении как амбулаторных, так и стационарных больных. Лечение проводится обычно отрицательно заряженными аэрозолями из дистиллированной воды, водных растворов антибиотиков, минеральных вод и осуществляется при различных оториноларингологических (острых, хронических и атрофических воспалениях верхних дыхательных путей, озене, параназальных синуситах, аллергических риносинусопатиях), терапевтических (бронхиальной астме, гипертонической болезни), неврологических (у трахеотомированных больных с расстройством дыхания) заболеваниях.

В каких участках организма (в носу, полости рта, трахее, легких) и с какой эффективностью происходит осаждение ингалируемых аэрозолей, какую дозу медикаментов и электрического заряда получит пациент за определенное время ингаляции — все это зависит от дисперсности и электрических свойств аэрозолей, от режима работы аэрозольных генераторов и дыхания пациента.

Из упомянутых ингаляционных устройств наиболее широкое применение нашел аэрозольный ингалятор АИ-ТГУ (рис.), описанный нами раньше в [1] под названием кислородного аэрозоль-ионизатора АКИ-2. В этом ингаляторе, как и в аэрозольных генераторах нескольких других типов, распыление жидкости (медикамента) осуществляется с помощью пневматической форсунки, представляющей собой два сопла с круглыми отверстиями, сведенными друг к другу под прямым углом. Одно (горизонтальное) из сопел служит для подачи распыляющего газа, а другое (вертикальное) для распыляемой жидкости. В качестве



Р и с. Аэрозольный ингалятор АИ-ТГУ.

распыляющего газа используют сжатый воздух или медицинский кислород. Электростатическая индукция заряда на поверхности диспергируемой жидкости. Для этой цели над соплом жидкости установлен электрод, которому от соответствующего источника сообщается необходимый потенциал. Выделение аэрозоля нужной для ингаляции дисперсности обеспечивается конструкцией распылительной камеры, вмещающей форсунку — восходящим потоком и струей газа через выходной патрубок выносятся лишь частицы, обладающие малой скоростью седиментации. Распределение получаемых аэрозольных частиц по размерам дано в виде кривых счетного и весового распределения в работе [1]. Нами установлено, что указанное распределение весьма близко к логарифмически-нормальному.

Расход газа (воздуха или кислорода), протекающего через сопло, можно рассчитать по приближенной формуле

$$\Phi_r = 11 F_r (p + 1), \quad (1)$$

где  $\Phi_r$  — расход газа, л/мин (при нормальном давлении);  
 $F_r$  — площадь поперечного сечения газового сопла, мм<sup>2</sup>;  
 $p$  — давление газа перед прохождением через сопло, атм.



Формула (1) применима при  $p > 0,9$  ати и выведена при предположении, что температура газа комнатная и истечение происходит в свободную атмосферу. Справедливость формулы проверена при соплах диаметрами 0,6 1,0 мм и давлении воздуха 1,0 3,0 ати.

Для расхода жидкости в случае аэрозольного ингалятора АИ-ТГУ при распыливании воды найдена эмпирическая формула

$$\Phi_{\text{ж}} = 0,9 F_{\text{ж}} p^{0,5}, \quad (2)$$

где  $\Phi_{\text{ж}}$  — расход жидкости, мл/мин;

$F_{\text{ж}}$  — площадь поперечного сечения жидкостного сопла, мм<sup>2</sup>

Зависимость (2) получена при газовом и жидкостном соплах диаметрами соответственно 0,8 и 0,6 мм и соплах 0,7 и 0,5 мм при  $p = 0,5$  2,5 ати.

Выход аэрозоля из ингалятора

$$\Phi_{\text{а}} = \Phi_{\text{г}} + \Phi_{\text{ж}}, \quad (3)$$

где  $\Phi_{\text{а}}$  — выход аэрозоля, л/мин.

Но так как  $\Phi_{\text{ж}} \ll \Phi_{\text{г}}$ , то  $\Phi_{\text{а}} \approx \Phi_{\text{г}}$  и объемную концентрацию жидкости в аэрозоле можно выразить как

$$C = \frac{\Phi_{\text{ж}}}{\Phi_{\text{г}}}, \quad (4)$$

где  $C$  — объемная концентрация жидкости, мл/л.

Применительно к рассматриваемому ингалятору, учитывая (1) и (2),

$$C = 0,08 \frac{F_{\text{ж}} p^{0,5}}{F_{\text{г}}(p+1)}, \quad (5)$$

имеющее при данных соплах максимальное значение при  $p = 1$  ати. При формуле (5) нужно однако помнить, что она действительна для указанных значений параметров.

Сила тока заряженных частиц аэрозоля, выносимых потоком воздуха из ингалятора, в случае постоянного потенциала на индуктирующем электроде определена эмпирической формулой

$$I = 4,2 p^{0,7}, \quad (6)$$

где  $I$  — сила тока заряженных частиц, на. Зависимость (6) имеет место при соплах диаметрами 0,8 и 0,6 мм и давлении газа 0,5 3,0 ати при распыливании дистиллированной воды.

Удельный заряд аэрозольных частиц можно определить по формуле

$$Q = 0,06 \frac{I}{\Phi_{\text{ж}}}, \quad (7)$$

где  $Q$  — удельный заряд, мкк/мл.

С учетом формул (2) и (6) получим

$$Q = 0.28 \frac{p^{0.2}}{F_{ж}} \quad (8)$$

Как замечено при измерениях, наличие потенциала на индугирующем электроде снижает расход жидкости, а, следовательно, и объемную концентрацию жидкости в аэрозоле на 10–15%. Это объясняется повышенным осаждением заряженных аэрозольных частиц в распылительной камере.

Рассмотрим теперь некоторые вопросы, связанные с дозиметрией при ингаляции аэрозоля. Предположим, что источником аэрозоля является индивидуальный аэрозольный ингалятор с непрерывным выходом аэрозоля  $\Phi_a$  (без регулятора подачи) и что пациент вдыхает воздух из непосредственной близости выходного отверстия ингалятора.

Объемная скорость вдыхаемого пациентом воздуха (аэрозоля)

$$W = \frac{V}{\tau \cdot \nu}, \quad (9)$$

где  $W$  — объемная скорость воздуха, л/мин;

$V$  — минутный объем дыхания пациента, л/мин;

$\tau$  — длительность одного вдоха, мин;

$\nu$  — частота дыхания, 1/мин.

Если  $W \leq \Phi_a$ , то для вдоха достаточно аэрозоля, выходящего из ингалятора, и количество жидкости (медикамента), вдыхаемого пациентом при ингаляции,

$$M_1 = W \tau \nu Ct = V Ct, \quad (10)$$

где  $M_1$  — количество жидкости, вдыхаемой пациентом при  $W \leq \Phi_a$ , мл;  $t$  — продолжительность ингаляции, мин.

Если же  $W > \Phi_a$ , то при совершении вдоха аэрозоля, выходящего из ингалятора, недостаточно и недостающее количество воздуха набирается из окружающей атмосферы. В этом случае

$$M_2 = \Phi_a \tau \nu Ct = \Phi_a \frac{V}{W} Ct, \quad (11)$$

где  $M_2$  — количество жидкости, вдыхаемой пациентом при  $W > \Phi_a$ , мл.

Аналогичная дозиметрическая формула, предложенная С. И. Эйдельштейном [2], не учитывает соотношения  $\Phi_a$  и  $W$

Количество электрического заряда, вдыхаемого пациентом за время ингаляции, определяется формулой

$$q = M_{1,2} Q, \quad (12)$$

где  $q$  — вдыхаемый электрический заряд, мкк.

Как показали наши ранние измерения [3], при ингаляции электроаэрозоля в организме задерживается тем большая доля вдыхаемого заряда, чем больше удельный заряд аэрозольных частиц и чем глубже дыхание. Так, например, в случае аэрозольного ингалятора АИ-ТГУ при удельном заряде частиц 1,2 мкк/мл и нормальном дыхании в организме задерживается 80—90% вдыхаемого заряда. Разумеется, задержка заряда и вещества аэрозольных частиц, а особенно распределение их по отдельным участкам дыхательного тракта зависят главным образом от дисперсности ингалируемого аэрозоля.

Наконец коснемся еще вопроса экономичности аэрозольного ингалятора.

Из выходящей из ингалятора жидкости в виде аэрозольных частиц пациентом вдыхается лишь доля, равная при  $W \leq \Phi_a$ , согласно (10) и (4),

$$\frac{M_1}{\Phi_{\text{жт}}} = \frac{V}{\Phi_r} \quad (13)$$

и при  $W > \Phi_a$ , согласно (11) и (4),

$$\frac{M_2}{\Phi_{\text{жт}}} = \frac{V}{W} \quad (14)$$

Потери медикамента при ингаляции соответствующего аэрозоля тем меньше, чем больше отношения (13) и (14). Наименьшие потери в случае (13) имеют место при  $\Phi_a = W$ , а в случае (14) потери не зависят от режима работы аэрозольного ингалятора и составляют столько же, сколько при  $\Phi_a = W$ , а именно: как нетрудно убедиться на основании (14) и (9),  $(1 - \tau_v) \cdot 100\%$ .

Эти потери при рассматриваемом аэрозольном ингаляторе неизбежны. Кроме того, из последних рассуждений следует, что режим работы ингалятора  $\Phi_a > W$  нецелесообразен, так как приводит к излишним затратам медикамента. Таким образом, наибольшая доля выходящего из ингалятора аэрозоля вдыхается при  $\Phi_a \leq W$ . Если принять, что объемная скорость воздуха при входе составляет 16 л/мин, то целесообразно, чтобы расход аэрозоля при ингаляторе не превышал указанного значения.

### Выводы

1. Распределение выходящих из ингалятора аэрозольных частиц по размерам логарифмически-нормальное.
2. При получении электрически заряженного аэрозоля объемная концентрация жидкости в аэрозоле на 10—15% меньше, чем при получении незаряженного аэрозоля.
3. Наименьшие потери медикамента при ингаляции аэрозоля от индивидуального ингалятора получаются тогда, когда выход

аэрозоля (производительность ингалятора) не превышает объемной скорости воздуха при вдохе.

4. Из аэрозоля, выходящего из ингалятора, вдыхается доля, не превышающая отношения минутного объема дыхания пациента к объемной скорости вдыхаемого воздуха.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Виснапуу, Л. Ю., Йентс, А. К. Физические характеристики различных электроаэрозольных аппаратов, применяемых в медицинской практике. Уч. зап. Тартуского гос. ун-та, вып. 163. Тарту, 1964, 404—412.

2. Эйдельштейн, С. И., Основы аэрозольтерапии. «Медицина», М., 1967, 214.

3. Йентс, А. К., Виснапуу, Л. Ю., Об измерениях плотности заряда в выдыхаемом воздухе при ингаляции электроаэрозолей. Уч. зап. Тартуского гос. ун-та, вып. 163. Тарту, 1964, 399—403.

Поступила 10/IV 1968 г.

### AEROSOOLI-INHALAATORITE TÕÖREŽIIMIST

L. Visnapuu, A. Jents

#### Resümee

Artiklis kirjeldatakse kliinikute meditsiinilises praktikas laiemat rakendust leidnud aerosooli-inhalaatori tööpõhimõtet. Täheledatakse, et saadavate aerosooliosakeste jaotus mõõtmete järgi on lähedane logaritmi-normaalsele. Esitatakse pneumaatilise aerosooli-inhalaatori töörežiimi kirjeldavad seosed ning mõned dosimeetrised valemid. Käsitletakse pideva aerosooli joaga inhalaatorite ökonoomsuse küsimust.

### ON WORKING-REGIME OF AEROSOL INHALATORS

L. Visnapuu, A. Jents

#### Summary

The article carries a short description of the operation of an aerosol inhalator which has found a rather widespread application in the medical practice of the Republic's clinics. It has been pointed out that the distribution of the aerosol particles obtained by this device is in size near the logarithmically normal one. Formulas have been presented which describe the operating conditions of a pneumatic aerosol inhalator, and a few dosimetrical formulas have been added. The problem of the economy of aerosol inhalators having no aerosol-feeding regulators has been discussed.

## О ФИЗИЧЕСКИХ ОСНОВАХ ОЦЕНКИ ХИМИЧЕСКОГО ВЛИЯНИЯ УЛЬТРАЗВУКА

Л. А. Сульби

1. При получении медицинских аэрозолей с помощью ультразвука [1, 2] необходимо знать, какие химические превращения медикаментов могут иметь место в процессе распыления. Соответствующими экспериментами не удалось обнаружить существенных изменений структуры и свойств лекарств после обработки их в звуковом поле ([1], стр. 84), хотя, например, в литературе [3—13] описаны многочисленные химические реакции, вызываемые ультразвуком. Имея еще в виду, что диспергирование требует заметной интенсивности ультразвука, достигаемой фокусирующими системами, дальнейшее исследование звукохимического эффекта является актуальным и представляет интерес для развития теории и практических применений. Не касаясь химической специфики различных звукохимических реакций [11—13], рассмотрим в настоящей работе их общие физические закономерности с точки зрения закона сохранения энергии, продолжая тем самым выполненные нами первоначальные исследования [14, 15].

2. Для критического анализа возьмем в качестве примера работы [3, 4] и начнем с исследования однородного звукового поля в воде при частоте  $f=2$  Мгц. Исходя из ряда значений интенсивности ультразвука, достигаемых современными техническими средствами, соответственно вычислим:

1) величину средней плотности энергии в бегущей волне:

$$E = \frac{I}{v} \text{ (дж/см}^3\text{)},$$

где  $I$  — интенсивность ( $\text{вт/см}^2$ ) и  $v$  — скорость ( $\text{см/сек}$ ) звука;

2) повышение температуры  $dt$ , вызывающее увеличение средней плотности тепловой энергии  $dQ$  ( $\text{дж/см}^3$ ) на величину, равную  $E$ :

$$dt = \frac{dQ}{cq}$$

где  $c$  — удельная теплоемкость  $\left(\frac{\text{дж}}{\text{г} \cdot \text{град}}\right)$  и  $\rho$  — плотность среды  $(\text{г}/\text{см}^3)$ ;

3) амплитуду звукового давления:  $P = \frac{1}{981} \sqrt{20 \rho v I}$  (ат);

4) амплитуду ускорения частиц среды:

$$B = 2\pi f \sqrt{\frac{21}{\rho v}} 10^7 \text{ (см/сек}^2\text{)}.$$

Значения вычисленных величин приведены в таблице 1.

Т а б л и ц а 1

$I \left(\frac{\text{вт}}{\text{см}^2}\right)$	1	10	$10^2$	$10^3$	$10^4$	$10^5$
$E \left(\frac{\text{дж}}{\text{см}^3}\right)$	$0,67 \cdot 10^{-5}$	$0,67 \cdot 10^{-4}$	$0,67 \cdot 10^{-3}$	$0,67 \cdot 10^{-2}$	$0,67 \cdot 10^{-1}$	0,67
$dt \text{ (}^\circ\text{C)}$	$0,16 \cdot 10^{-5}$	$0,16 \cdot 10^{-4}$	$0,16 \cdot 10^{-3}$	$0,16 \cdot 10^{-2}$	$0,16 \cdot 10^{-1}$	0,16
$P \text{ (атм)}$	1,7	5,5	17	55	170	550
$B \left(\frac{\text{см}}{\text{сек}^2}\right)$	$1,5 \cdot 10^7$	$4,6 \cdot 10^7$	$1,5 \cdot 10^8$	$4,6 \cdot 10^8$	$1,5 \cdot 10^9$	$4,6 \cdot 10^9$

Данные таблицы 1 свидетельствуют о следующем.

а) По сравнению с нагреванием увеличение средней плотности энергии среды даже при сверхвысоких интенсивностях звука оказывается весьма незначительным. Величина  $E$  часто переоценивается ([6], стр. 407—408).

б) Если среднюю плотность энергии  $E$  однородного звукового поля считать основным фактором химической активации, такое поле неспособно вызывать глубокие химические превращения в стойких соединениях.

в) Эффективное значение звукового давления  $P_{\text{эфф}} \frac{P}{\sqrt{2}}$  в наших примерах достигает максимально 400 атм, тогда как в обыкновенных ультразвуковых установках для распыления жидкостей оно не превосходит 10—20 атм. Постоянное давление такого же порядка, как правило, лишь в ничтожной мере деформирует молекулы и вместе с тем мало изменяет их реакционную способность [16—18].

Переменное звуковое давление периодически повышает и понижает температуру среды при адиабатическом сжатии и разрежении, но лишь в пределах  $1^\circ\text{C}$  даже при очень высоких интенсивностях звука ([6], стр. 93).

г) Ускорения, сообщаемые частицам среды ультразвуком, в общем весьма велики, но они оказываются совершенно ничтожными по сравнению, например, с ускорениями, имеющими место при столкновениях молекул газа в нормальных условиях за счет теплового движения.

Переменное звуковое давление и ускорение частиц среды, с точки зрения звукохимического эффекта, могут ускорять гетерогенные реакции главным образом через перемешивание, диспергирование и др. процессы.

Для дальнейшего изучения нашей проблемы целесообразно более детально проанализировать вопрос о поглощении звука и локализации энергии.

3. Общеизвестный коэффициент суммарного поглощения звука в виде показателя степени не позволяет составить корректного детального баланса энергии. Для устранения этого недостатка нами был предложен новый метод определения поглощения звука по трансформациям энергии [19].

Например, при проходящем потоке звука в цилиндрическом объеме среды поглощение по новому методу вычисляется формулой:

$$I_1 = I_0 \left( 1 - \sum_1^n K_i \right),$$

где  $I_0$  — интенсивность падающего и  $I_1$  — интенсивность прошедшего звукового потока.

Следовательно, мы заменили экспоненциальную функцию  $e^{-2\alpha x}$  рядом  $1 - \sum_1^n K_i$ , члены которого  $K_i$  выражают:

1) рассеяние (псевдопоглощение) звуковой энергии [3, 6, 20], где  $K_1 = K_p$  определяет рассеянную часть интенсивности, а  $K_2 = K_m$  — уменьшение интенсивности за счет трансформации волн (например, продольные волны могут трансформироваться в поперечные и т. д.);

2) остальные  $K_i$  выражают трансформацию звуковой энергии:

а) в энергию механического действия — течения [21, 22], диспергирования, распыления и т. д. —  $K_3 = K_m$  (в твердых телах, может быть  $K_3 = 0$ );

б) в теплоту (нагревание среды) [23, 24] —  $K_4 = K_n$ ;

в) в энергию, затрачиваемую на структурные изменения вещества (химические превращения и т. п.) —  $K_5 = K_x$ ;

г) в энергию, затрачиваемую на электрические явления —  $K_6 = K_e$ ;

д) в энергию, затрачиваемую на оптические явления [25—27] —  $K_7 = K_o$  и т. д.

В общем каждый член  $K_i$  является функцией нескольких переменных (структуры вещества, частоты звука, температуры и т. д.), значение которого в конкретных условиях можно вычис-

лить на основе молекулярной акустики, квантовой механики и химии, уточняя полученные данные экспериментально. Соответственно системе единиц СИ,  $K_i$  следует определить на отрезке (при толщине слоя среды) 1 м для составления таблиц коэффициентов поглощения звука.

$K_i$  позволяют с желаемой точностью согласовать эксперименты с теорией, открывая возможности для исправлений, дополнений и развития теории.

Нахождение системы функций  $K_i$  для разных веществ, по нашему мнению, является более плодотворным, чем трудоемкие попытки применения старого коэффициента поглощения, усложненного многочисленными дополнениями в рамках релаксационной теории [28, 29].

С точки зрения квантовой акустики,  $K_n$ ,  $K_x$ ,  $K_z$  и  $K_o$  выражают взаимодействие между звуковыми квантами (фононами) и электронами или ядрами атомов.

Для распыления жидкостей применяются частоты звука порядка  $10^6$  гц и, следовательно, энергия звуковых квантов в данном случае в миллионы раз меньше, чем у квантов инфракрасного излучения. Химический эффект звуковых фононов возможно оценить на основе фото- и радиационной химии.

При звукохимических реакциях, сопровождаемых поглощением энергии (звука),  $K_x$  определяет количество выделяющегося продукта реакции. Охват звукохимического эффекта таким способом в первом приближении отражает коэффициент суммарного поглощения звука

$$K_c = K_n + K_x + K_z + K_o +$$

или общеизвестного  $\alpha$ .

Если суммарное поглощение звука небольшое, энергетические возможности возникновения звукохимических реакций ограничены. Только максимумы поглощения указывают на опасные интервалы частот для распада медикаментов при распылении.

Во избежание нежелательных последствий необходимы измерения поглощения звука в лекарствах на частотах, применяемых для получения аэрозолей.

В отношении распада самыми чувствительными являются большие сложные молекулы со слабыми химическими связями, клетки, микроорганизмы и т. п. [1—9, 30—34]. Опасность образования вредных или ядовитых остатков деполимеризации макромолекулярных медикаментов в ультразвуковом поле маловероятно, так как ультразвук только во время длительного облучения влияет механически, изменяя вязкость, молекулярный вес и т. п. у полимеров. Но окончательное выяснение появляющихся химических превращений требует в конкретных условиях соответственного анализа. Процессы ультразвуковой деполимеризации и



полимеризации макромолекул подробно описываются, например, в работе [9].

Для оценки звукохимического эффекта нужно  $K_x$  определяется после элиминации  $K_m$  из формулы

$$K_x = K_c - K_n$$

Непосредственное измерение  $K_c$  и калориметрическое определение  $K_n$  следует проводить в проходящем звуковом потоке с интенсивностью, соответствующей в действительности применяемой, например, при распылении жидкости и т. д. [14].  $K_m$ , которое прежде всего показывает затраты поглощенной энергии звука на образование потоков, определяется для элиминации радиометрическими измерениями мощности звука без и при наличии у диска радиометра тонкой звукопроницаемой пленки [39].

Остальные  $K_i$  в звукохимических реакциях можно считать незначительно малыми.

В закрытых сосудах (см. напр., [8], стр. 17) при заграждении потока звука невозможно определить истинное первичное значение  $K_x$ , соответствующее прямому взаимодействию между звуковыми фонами и реагирующими молекулами, из-за сильного влияния нагревания, стенок сосуда и пр.

В стоячих звуковых волнах указанный коэффициент может в известной мере превосходить свое первоначальное значение, определенное в проходящем потоке звука.

В прегражденном потоке звука  $K_n$  теряет смысл, так как нагревание среды зависит тогда только от мощности излучения звука, что при достаточных запасах энергии может привести к значительному повышению температуры. Это принуждает к применению надежно работающей системы термостатирования (охлаждения) у ультразвуковых распылителей жидкостей для предотвращения термохимических превращений медикаментов.

Как правило, значение  $K_n$  во много раз превосходит значение  $K_x$ .

Заканчивая анализ идеализированного однородного звукового поля с аспекта звукохимии, заметим, что в действительности, как хорошо известно, существуют разные неоднородности поля. Из них нас привлекают концентрации энергии, среди которых самую важную роль играет кавитация ([35], стр. 10). Последняя является фактором, способным инициировать звукохимические реакции [33, 35, 36] и др. Но в то же время экспериментально показано, что распыление жидкости в ультразвуковом фонтане протекает только при образовании кавитации [37-38].

4. В свете вышеуказанных факторов необходимо остановиться на процессах, сопровождающих локализации энергии благодаря кавитации.

При кавитации относительно низкая средняя плотность энер-

гии звукового поля концентрируется в высокую плотность энергии внутри и вблизи захлопывающегося пузырька. Внутри замыкающихся пузырьков температура может повышаться до тысячи градусов, а пиковое давление возникающих ударных волн достигает тысячи атмосфер. Однако влияние указанных экстремальных значений параметров захватывает очень ограниченное количество вещества в течение коротких интервалов времени (части периода колебания ультразвука). В результате этого выход продукта реакции, исключая процессы диспергирования, является незначительным и перспективы звукохимии — технологические процессы, основывающиеся на действии кавитации, необоснованны ([35], стр. 101)

Но сказанное нас не удовлетворяет, так как опасными для здоровья пациента могут оказаться и очень слабые концентрации ядовитых веществ. Нам необходимы основы и методы количественной оценки звукохимического эффекта кавитации [15, 35—47].

Оценка кавитационных и их сопровождающих процессов проводится на базе специальной системы коэффициентов полезного действия, которые определяются на основе соответствующих количеств энергии [40] или исходя из мощностей [15]. Последняя обобщенная система коэффициентов, позволяющая оценить эффективность получения и использования ультразвуковой энергии выражается, например, формулой

$$\eta_{\Sigma-x} = \eta_{\Gamma} \eta_{\Pi} \eta_{\Phi} \eta_{\kappa} \eta_{\chi},$$

где  $\eta_{\Sigma-x}$  — к.п.д. использования электрической энергии для химических превращений,

$\eta_{\Gamma}$ ,  $\eta_{\Pi}$ ,  $\eta_{\Phi}$  — к.п.д. ультразвукового (высокочастотного) генератора, преобразователя и фокусирующего устройства (концентратора),

$\eta_{\kappa}$  — к.п.д. кавитационного использования акустической энергии,

$\eta_{\chi}$  — к.п.д. использования кавитационной энергии для химических изменений.

$\eta_{\Gamma}$  определяется электрическими измерениями потребляемой и выходной мощности генератора.

Определение  $\eta_{\Pi}$  и  $\eta_{\Phi}$  требует измерения акустической мощности излучения, например, калориметрическим методом [3, 6].

$\eta_{\kappa}$  и связанное с ним  $\eta_{\chi}$  изучаются в работах [39—43]. На основе приближенной теоремы Борнуса считается, что энергия, затраченная на образование кавитации, равна кинетической энергии течения, измеряемой при помощи радиометра и звукопроницаемой пленки. Получены данные, что в обычных излучателях  $\eta_{\kappa}$  составляет около 20%, а при использовании сверхмощных концентраторов имеет значение 85—90% [39, 40].

Представляет интерес оценить максимальные энергетические возможности кавитации и искать другие пути определения  $\eta_{\kappa}$ .

Одинаковые сферические пузырьки, независимо от величины диаметра, плотно расположенные в рассматриваемом объеме, занимают максимально около 70% общего объема системы. В 1 см<sup>3</sup> среды кавитационные полости могут занять объем  $\Delta V = 0,7 \text{ см}^3$

Работа преодоления нормального давления  $P \approx 10^5 \text{ н/м}^2$  при расширении пузырьков [43]:

$$A_{\partial} \approx 7 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3 \cdot 10^5 \text{ н/м}^2 = 0,07 \text{ дж},$$

если не учитывать инерции.

Далее вычисляем при разных максимальных диаметрах D

1) объем одного пузырька:  $V_n = \frac{\pi D^3}{6} \text{ (см}^3\text{)};$

2) число пузырьков N в объеме  $\Delta V = 0,7 \text{ см}^3$ :  $N = \frac{\Delta V}{V_n};$

3) величину поверхности пузырька:  $S_n = \pi D^2 \text{ (см}^2\text{)};$

4) суммарную поверхность пузырьков:  $S_c = NS_n \text{ (см}^2\text{)};$

5) работу поверхностных сил при поверхностном натяжении  $\delta = 70 \text{ дин/см}$  (вода)  $A_{\text{пн}} = \delta S_c \text{ (дж)};$

6) полную работу образования кавитации в течение одного периода в 1 см<sup>3</sup> среды (воде):  $A = A_{\partial} + A_{\text{пн}} \text{ (дж)};$

7) среднюю плотность кавитационной энергии:  $E_k = fA \text{ (дж/см}^3\text{)}$  при частоте  $f_1 = 20 \text{ кГц}$ ,  $f_2 = 500 \text{ кГц}$  и  $f_3 = 2000 \text{ кГц}$ .

Из полученных данных составляем таблицу.

Т а б л и ц а 2

D (см)	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-5</sup>
V <sub>n</sub> (см <sup>3</sup> )	0,54 · 10 <sup>-6</sup>	0,54 · 10 <sup>-9</sup>	0,54 · 10 <sup>-12</sup>	0,54 · 10 <sup>-15</sup>
N	1,34 · 10 <sup>6</sup>	1,34 · 10 <sup>9</sup>	1,34 · 10 <sup>12</sup>	1,34 · 10 <sup>15</sup>
S <sub>n</sub> (см <sup>2</sup> )	3,14 · 10 <sup>-4</sup>	3,14 · 10 <sup>-6</sup>	3,14 · 10 <sup>-8</sup>	3,14 · 10 <sup>-10</sup>
S <sub>c</sub> (см <sup>2</sup> )	4,2 · 10 <sup>2</sup>	4,2 · 10 <sup>3</sup>	4,2 · 10 <sup>4</sup>	4,2 · 10 <sup>5</sup>
A <sub>пн</sub> (дж)	2,94 · 10 <sup>-3</sup>	2,94 · 10 <sup>-2</sup>	2,94 · 10 <sup>-1</sup>	2,94
A (дж)	0,073	0,1	0,37	3,07
E <sub>1</sub> (дж/см <sup>3</sup> )	1,46 · 10 <sup>3</sup>	2 · 10 <sup>3</sup>	7,4 · 10 <sup>3</sup>	6,14 · 10 <sup>3</sup>
E <sub>2</sub> (дж/см <sup>3</sup> )	3,65 · 10 <sup>4</sup>	5 · 10 <sup>4</sup>	1,85 · 10 <sup>5</sup>	1,54 · 10 <sup>6</sup>
E <sub>3</sub> (дж/см <sup>3</sup> )	1,46 · 10 <sup>5</sup>	2 · 10 <sup>5</sup>	7,4 · 10 <sup>5</sup>	6,14 · 10 <sup>6</sup>

Теоретически максимальные плотности кавитационной энергии очень высокие, растущие с уменьшением пузырьков и увеличением частот. Но образование максимально возможного количества пузырьков, составляющих 70% из облучаемого объема, требует огромных интенсивностей ультразвука. При полном использовании акустической энергии в слое толщиной 1 см для достижения максимального эффекта кавитации необходимы ин-

тенсивности, по величине равные плотностям кавитационной энергии. Например, в воде при частоте 20 кГц для образования  $1,34 \cdot 10^9$  пузырьков диаметром  $10^{-3}$  см требуется интенсивность звука  $2 \cdot 10^3$  Вт/см<sup>2</sup> = 2 кВт/см<sup>2</sup>. В действительности суммарный объем возникающих полостей очень мал и измерим тонким капилляром, а абсолютное количество кавитационных пузырьков в одном кубическом сантиметре имеет порядок  $10^6$  [43]. Таким образом, реальные запасы энергии и эффективность кавитации в тысячи раз меньше идеализированных возможностей. При интенсивности  $I = 10$  Вт/см<sup>2</sup> плотность кавитационной энергии достигает 2 Дж/см<sup>3</sup> при частоте 20 кГц, согласно экспериментально определенному  $\eta_k = 20\%$ .

Измеряя поглощение звука в тонком слое (для уменьшения рассеяния на пузырьках) при проходящем потоке без и при наличии кавитации (с маленькой и технологической интенсивностью), увеличение поглощения выражают в некоторой мере части акустической энергии, расходуемой на возбуждение кавитации. Пусть по указанной причине поглощается в течение одного периода в объеме 1 см<sup>3</sup> количество энергии  $A_{\text{пог}}$ , а для образования кавитационных пузырьков потребляется работа  $A$ , тогда

$$\eta_k = \frac{A}{A_{\text{пог}}} = \frac{A_0 + A_{\text{пп}}}{A_{\text{пог}}} = \frac{\Delta VP + \delta S_c}{A_{\text{пог}}}$$

$\eta_x$  вычисляется по данным соответствующих физических измерений и химических анализов [36] и пр.

Так как распыление жидкостей в ультразвуковом поле протекает благодаря кавитации [37, 38], нас интересует, чтобы  $\eta_k$  и  $\eta_0$  (к.п.д. использования кавитационной энергии для диспергирования) были максимальными, а  $\eta_x$  минимальным. По данным работы [42] люминесценция и химические реакции, обусловленные окислением ионов, имеют место только при наличии газа в кавитационном пузырьке. Следовательно, дегазация медикаментов перед распылением приводит к уменьшению звукохимического эффекта кавитации и к увеличению эффекта туманообразования, вследствие того, что у пустых полостей возрастает интенсивность ударных волн захлопывания.

Звуколюминесценция дистиллированной воды с повышением температуры круто падает [42] и при температуре более 40°С прекращается, но интенсивность ударных волн при данной температуре остается еще на заметном уровне. Так открываются перспективы для нахождения полезного температурного режима для разных лекарств, обеспечивающие удовлетворительное распыление и минимальное химическое изменение соединения, если действительно сонолюминесценция всегда сопровождается химическими реакциями [46].

Звукохимический распад лекарств в процессе распыления

понижается уменьшением времени облучения посредством использования минимального резервуара распыления и т. д.

Для количественной оценки звукохимического эффекта нам нужны данные распылителя и свойства медикамента. Зная акустическую мощность установки,  $\eta_k$  и  $\eta_x$ , можем вычислить количество энергии, затрачиваемой для химических превращений, и согласно энергетическим параметрам реакции, найти массу продукта реакции.

Дополнительные данные о химическом и биологическом эффекте кавитации получаются изучением кавитационного процесса под давлением [44, 45]. Например, процесс деструкции полимеров активизируется увеличением интенсивности ударных волн, указывающим на механический характер деполимеризации и т. д. Изучению разных сторон процесса кавитации при повышенных гидростатических давлениях посвящена работа [47] и многие другие.

Гидродинамическая кавитация в крови крупных животных и человека может привести к их смерти. Под воздействием кавитации красные тельца крови — эритроциты дробятся [48].

5. В настоящей работе старались найти общие пути для количественной оценки звукохимического эффекта, анализируя для этого опубликованные материалы и применяя при этом разработанный нами новый метод определения поглощения звука, а также обобщенную систему коэффициентов полезного действия. Вычислены плотности энергии в однородном звуковом поле и при наличии кавитации.

Исходя из представленных позиций, можно оценить количества превращающихся в ходе звукохимических реакций веществ, которые имеют место при поглощении энергии.

Каталитическое действие ультразвука в данной статье не рассматривается. В дополнение к вышесказанному рассматривается влияние некоторых факторов на звукохимический эффект.

В заключение подчеркнем, что локальные плотности энергии при захлопывании пузырьков могут во много раз превосходить средние плотности кавитационной энергии, открывающие пути происхождения любой химической реакции ограниченными количествами вещества. Поэтому при облучении медикаментов ультразвуком необходимо в каждом конкретном случае проводить всесторонние контрольные химические, биологические и медицинские анализы.

Автор выражает сердечную благодарность К. К. Шальневу и Г. А. Кардашеву за обсуждение статьи, а также А. Лайсаару, И. Пийру и другим, оказавшим помощь в оформлении работы.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Pickroth, G., *Ultraschall- und Düsen-Aerosole in der Medizin*. Jena, 1963.
2. Wiedau, E., Röher, O., *Ultraschall in der Medizin*. Dresden und Leipzig, 1963.
3. Бергман, Л., *Ультразвук*. М., ИЛ, 1957.
4. Weissler, A., *Sonochemistry: The Production of Chemical Changes with Sound Waves*. JASA, 1953, 25, 4, 651—657.
5. Beier, W., Dörner, E., *Der Ultraschall in Biologie und Medizin*. Leipzig, 1954.
6. Matauschek, J., *Einführung in die Ultraschalltechnik*. Berlin, 1962.
7. Hertorth, L., Winter, H. M., *Ultraschall*. Leipzig, 1958.
8. О химическом и биологическом действии ультразвука. Отв. ред. Ф. А. Гуревич. АН СССР, сиб. отд. Красноярск, 1962.
9. Эльпинер, И. Е., *Ультразвук. Физико-химическое и биологическое действие*. М., Физматгиз, 1963.
10. Atkinson, G., Kor, S. K., Petrucci, S., *Ultrasonics in Chemistry*. Proceedings of the IEEE, 1965, 53, 10, 1355—1362.
11. Pancholy, M., Singal, S. P., *Ultrasonic studies and chemical kinetics-I application of Freedman's theory*. Acustica, 1964, 14, 174—177.
12. Pancholy, M., Singal, S. P., *Ultrasonic studies and chemical kinetics-II application of Tabuchi's theory*. Acustica, 1964, 14, 178—181.
13. Chen, J. W., Kalback, W. M., *Effect of ultrasound on chemical reaction rate*. Industrial and Engineering Chemistry. Fundamentals, 1967, 6, 2, 175—178.
14. Сульби, Л. А., Поглощение звука и химические изменения. Доклад на Двенадцатой межвузовской научной конференции по применению ультразвуки к исследованию вещества. МОПИ. М., 1—5 февраля 1966 г.
15. Сульби, Л. А., Кавитация и химические изменения. Некоторые вопросы баланса энергии. Доклад на Двенадцатой межвузовской научной конференции по применению ультразвуки к исследованию вещества. МОПИ. М., 1—5 февраля 1966 г.
16. Hamann, S. D., *Physico-Chemical Effects of Pressure*. London, 1957.
17. Гоникберг, М. Г., *Химическое равновесие и скорость реакций при высоких давлениях*. М., изд-во АН, 1960.
18. Leiber, C. O., *Der Druckeinfluß bei Reaktionen elektronisch angeregter Moleküle in Lösung*. Dissertation TH. Stuttgart, 1963.
19. Сульби, Л. А., О механизме поглощения звука. Некоторые новые аспекты. Доклад на Совещании по квантовой акустике и ультразвуковой интерферометрии с 26 по 30 июня 1967 г. в г. Вильнюсе.
20. Гитис, М. Б., Химуни, А. С., О поправках на дифракцию при измерении коэффициента поглощения и скорости звука. Акуст. ж., 1968, 14, 3, 363—370.
21. Медников, Е. П., О микроструктуре акустической турбулентности. Акуст. ж., 1966, 12, 4, 466—473.
22. Статников, Ю. Г., Потоки, вызванные звуком конечной амплитуды. Акуст. ж., 1967, 13, 1, 146—148.
23. Parthasarathy, S., Srinivasan, D., Chari, S. S., *Thermische Untersuchungen über die Absorption von Ultraschallwellen in Flüssigkeiten*. Zs. für Physik, 1953, 135, 395—402.
24. Parthasarathy, S., Srinivasan, D., Chari, S. S., *Die Beziehung des durch Ultraschallwellen in Flüssigkeiten erzeugten Temperatureffektes zu ihrem Absorptionskoeffizienten*. Zsch. für Physik, 1953, 135, 403—405.
25. Alfredsson, B., *A study of sonoluminescence in ultrasonic induced cavitation*. Acustica, 1965/66, 16, 127—133.
26. Gabrielli, I., Iernetti, G., Lavenia, A., *Sonoluminescence and cavitation in some liquids*. Acustica, 1967, 18, 173—179.

27. Danielmeyer, H. G., Schallabsorption durch optische Phononen in Molekulkristallen. *Acustica*, 1966, 17, 102—109.
28. Schaaffs, W., *Molekularakustik*. Berlin-Göttingen-Heidelberg. 1963.
29. Михайлов, И. Г., Соловьев, В. А., Сырников, Ю. П., Основы молекулярной акустики. М., Наука, 1964.
30. Архангельский, М. Е., Сергеева, К. Я., О роли ультразвуковой кавитации в снижении вязкости гидравлических жидкостей. *Акуст. ж.*, 1964, 10, 2, 111—112.
31. Сергеева, К. Я., О возможности деполимеризации низкомолекулярных фракций полимера под действием ультразвука. *Акуст. ж.*, 1965, 11, 3, 405—407.
32. Schmid, G., Neues über die Anwendung von Ultraschall in der Chemie. *Die Chemie (Angewandte Chemie, Neue Folge)*, 56. Jahrgang, Nr. 11/12, S. 67—82, März 1943.
33. Grabar, P., Prudhomme, P. O., Die mechanischen und chemischen Wirkungen der Ultraschallwellen. *Ultraschall in Med.* 1, 114—121, 1949.
34. Boucher, R. M. G., Pisano, M. A., Tortora, G., Sawicki, E., Sonochemical sterilization. *Ultrasonics*, 1967, July, 168—172.
35. Флинн, Г., Физика акустической кавитации в жидкостях. Физическая акустика. Под ред. У. Мэзона. М., Мир, 1967, т. 1, ч. Б, 7—138.
36. Gabrielli, I., Iernetti, G., Cavitation and chemical effects in ultrasonic stationary fields. *Acustica*, 1963, 13, 165—174.
37. Ильин, Б. И., Экнадиосянц, О. К., К вопросу о природе распыления жидкостей в ультразвуковом фонтане. *Акуст. ж.*, 1966, 12, 3, 310—318.
38. Экнадиосянц, О. К., О роли кавитации в процессе распыления жидкостей в ультразвуковом фонтане. *Акуст. ж.*, 1968, 14, 1, 107—111.
39. Сиротюк, М. Г., Баланс энергии звукового поля при наличии кавитации. *Акуст. ж.*, 1964, 10, 4, 465—469.
40. Розенберг, Л. Д., Об оценке кавитационной эффективности акустической энергии. *Акуст. ж.*, 1965, 11, 1, 121—124.
41. Акулиничев, В. А., Розенберг, Л. Д., О некоторых соотношениях в кавитационной области. *Акуст. ж.*, 1965, 11, 3, 287—293.
42. Сиротюк, М. Г., Влияние температуры и газосодержания жидкости на кавитационные процессы. *Акуст. ж.*, 1966, 12, 1, 87—92.
43. Сиротюк, М. Г., Об энергетике и динамике кавитационной области. *Акуст. ж.*, 1967, 13, 2, 265—269.
44. Сергеева, К. Я., Об ультразвуковой деполимеризации при повышенном статическом давлении. *Акуст. ж.*, 1967, 13, 1, 145.
45. Бронская, Л. М., Вигдерман, В. С., Сокольская, А. В., Эльпинер, И. Е., О влиянии статического давления на ультразвуковые химические и биологические эффекты. *Акуст. ж.*, 1967, 13, 3, 442—444.
46. Мальцев, А. Н., Маргулис, М. А., Возникновение окислительно-восстановительных процессов в растворах триоксалоферрата (III) калия в поле ультразвуковых волн. *Акуст. ж.*, 1968, 14, 2, 295—296.
47. Сиротюк, М. Г., Протекание процессов ультразвуковой кавитации при повышенных гидростатических давлениях. *Акуст. ж.*, 1966, 12, 2, 231—238.
48. Шальнев, К. К., Некоторые проблемы кавитации. *Вестник АН СССР*, 1967, 6, 68—74.

# ULTRAHELI KEEMILISE MÖJU HINDAMISE FÜÜSIKALISTEST ALUSTEST

L. Sulbi

## Resümee

Töös tuuakse andmeid idealiseeritud helivälja energiatiheduste kohta homogeensel juhul ja kavitatsiooni puhul ning võetakse kasutusele uus meetod heli neeldumise kirjeldamiseks energeetilistest üleminekutest lähtudes. Energiabilansi koostamiseks esitatakse üldistatud kasutegurite süsteem, mis võimaldab hinnata helienergia tootmist ja kulutamist. Lähtudes artiklis toodud põhimõtetest ja meetoditest avaneb võimalus arvutada helikeemiliste reaktsioonide puhul muunduvate ainete hulki näiteks medikamentide pihustamisel ultraheli abil jne.

# PHYSICAL FOUNDATIONS OF EVALUATING THE CHEMICAL EFFECT OF ULTRASOUND

L. Sulbi

## Summary

The paper presents data on the energy densities of an idealized ultrasonic field in a homogeneous case and in cavitation. A new method is introduced to describe sound absorption proceeding from energetic transitions. To draw up an energy balance, a system of generalized efficiencies is presented, which makes it possible to evaluate the production and consumption of sonar energy. Proceeding from the principles and methods presented in the paper, it becomes possible to calculate the amounts of converted substances in sonochemical reactions, for instance, in spraying medicaments by ultrasound, etc.



## СОДЕРЖАНИЕ

Рейнет Я. Ю. Краткий обзор научно-исследовательских работ по аэро- ионизации и электроаэрозолям, проведенных в г. Тарту	3
Reinet J. Lühivõlvade atmosfääri-ionisatsiooni ja elektroaerosoo- lide-alastest töödest Tartus. <i>Resümee</i>	28
Reinet J. Outline of studies on ionization and electroaerosols car- ried out in Tartu. <i>Summary</i>	29
Прюллер П. К., Сакс О. В. Счетчик атмосферных ионов с автоматиче- ским фоторегистратором и динамическим электрометром	32
Prüller P., Saks O. Automaatse fotoregistraatoriga ja dünaami- lise elektromeetrigaioonide loendur. <i>Resümee</i>	57
Prüller P., Saks O. Ion counter with automatic photorecorder and vibrating-reed electrometer. <i>Summary</i>	59
Прюллер П. К. Исследование спектра атмосферных ионов, гигиениче- ское и биометеорологическое значение ионизации атмосферы по данным измерений в г. Тарту	61
Prüller P. Atmosfääri-ionide spektrite uurimus, atmosfääri-ioni- satsiooni hügieeniline ja biometeoroloogiline tähendus mõõtmiste andmel Tartus. <i>Resümee</i>	130
Prüller P. Investigations of atmospheric ion spectra, hygienical and biometeorological significance of ionization in Tartu. <i>Summary</i>	134
Таммет Х. Ф. К теории измерения напряженности атмосферного элек- трического поля	140
Tammet H. Atmosfääri elektrivälja tugevuse mõõtmise teooriast. <i>Resümee</i>	154
Tammet H. On the theory of the measurement of the atmospheric electric field. <i>Summary</i>	155
Таммет Х. Ф. Счетчик аэроионов САИ-ТГУ-66	157
Tammet H. Aeroioonide loendur САИ-ТГУ-66. <i>Resümee</i>	163
Tammet H. Air ion counter САИ-ТГУ-66. <i>Summary</i>	163
Сальм Я. И. Кажущийся спектр аэроионов при учете тепловой диффузии	164
Salm J. Aeroioonide näiv spekter soojusliku difusiooni arvestamisel <i>Resümee</i>	173
Salm J. The apparent spectrum of air ions due to heat diffusion. <i>Summary</i>	173
Сальм Я. И. О действии турбулентности в аспирационном счетчике аэроионов	174
Salm J. Turbulentsi toimest aeroioonide aspiratsiooniloenduris. <i>Resü- mee</i>	179
Salm J. On the effect of the turbulence in the aspiration counter of air ions. <i>Summary</i>	180
Сальм Я. И. Разрешающая способность дифференциального счетчика аэроионов первого порядка в зависимости от отношения дейст- вующих емкостей	181
Salm J. Esimest järku aeroioonide diferentsloenduri lahutusvõime sõltuvalt tegevmahtuvuste suhtest. <i>Resümee</i>	184

Salm J. Dependence of the resolving power of the first-grade differential counter of air ions on the ratio of its active capacitances. <i>Summary</i>	184
Ирд В. Я., Лепик М. Э. Регистратор автоматического счетчика аэроионов	185
Ird V., Lepik M. Aeroioonide automaatse loendaja registraator. <i>Resümee</i>	190
Ird V., Lepik M. Recorder of an automatic counter of air ions. <i>Summary</i>	191
Сакс О. В., Ирд В. Я. Электрометрическое нулевое устройство к счетчику аэроионов	192
Saks O., Ird V. Elektromeetiline nullseade aeroioonide spektri mõõtmiseks. <i>Resümee</i>	196
Saks O., Ird V. Electrometric null device for measuring the air ion spectrum. <i>Summary</i>	197
Ирд В. Я. Автоматический счетчик аэроионов с перфорегистратором	198
Ird V. Registraatoriga automaatne aeroioonide loendur. <i>Resümee</i>	207
Ird V. Automatic air ion counter with a teletype recorder. <i>Summary</i>	208
Ирд В. Я., Якобсон А. Ф. О применении полупроводниковых логических и функциональных элементов (ЭТ) в автоматическом счетчике аэроионов	209
Ird V., Jakobson A. Pooljuhtloogika ja funktsionaalelementide (ЭТ) kasutamist automaatse aeroioonide loenduris. <i>Resümee</i>	214
Ird V., Jakobson A. On the use of semiconductor elements (ЭТ) in self-recording air ion counters. <i>Summary</i>	214
Веймер В. А., Куду К. Ф. Об импульсном ВЧ разряде в воздухе в промежутке острие-плоскость	215
Veimer V., Kudu K. Kõrgsageduslikust (KS) impulsslahendusest õhus teravik-plaat lahendusvahemikus. <i>Resümee</i>	220
Veimer V., Kudu K. Hf impulse discharge in open-air point-to-plane discharge gap. <i>Summary</i>	220
Куду К. Ф., Веймер В. А. Об условиях возникновения стримеров положительной короны	221
Kudu K., Veimer V. Positiivse koroona ilmutingimustest. <i>Resümee</i>	232
Kudu K., Veimer V. On conditions of the positive corona streamer appearance. <i>Summary</i>	232
Таммет Х. Ф. Теория простейшей модели плоского нейтрализатора статического электричества	234
Tammet H. Lihtsaima tasase staatiliste laengute neutralisaatori mudeli teooria. <i>Resümee</i>	241
Tammet H. Theory of the simplest model of a plane neutralizer of static charges. <i>Summary</i>	241
Виснапуу Л. Ю., Рейнет Я. Ю., Ютс Э. Ю. Коронный нейтрализатор со сквозным потоком воздуха	243
Visnapuu L., Reinet J., Üts E. Läbiva õhuvooluga koroonanentralisaator. <i>Resümee</i>	250
Visnapuu L., Reinet J., Üts E. Corona neutralizer with a through air flow. <i>Summary</i>	250
Хальясте А. Я., Рейнет Я. Ю. Нейтрализаторы статических зарядов	252
Haljaste A., Reinet J. Staatiliste laengute neutralisaatorid. <i>Resümee</i>	261
Haljaste A., Reinet J. Neutralizer of static charges. <i>Summary</i>	261
Виснапуу Л. Ю., Рейнет Я. Ю., Тетсов Э. А. Сравнительное исследование эффективности нейтрализации электростатических зарядов посредством генераторов аэроионов и электрически заряженного аэрозоля	262
Visnapuu L., Reinet J., Tetsov E. Elektrostaatiliste laengute neutraliseerimise efektiivsuse võrdlev uurimine aeroioonide ja elektriliselt laetud aerosooligeneraatorite abil. <i>Resümee</i>	269
Visnapuu L., Reinet J., Tetsov E. Comparative study of the efficiency of the neutralization of electrostatic charges by means	

of generators of air ions and electrically charged aerosols. <i>Summary</i>	270
<b>Виснапуу Л. Ю., Гущин А. Е., Лепик М. Э.</b> Об измерениях электростатических зарядов волокнистых материалов, транспортируемых воздушным потоком	271
<b>Visnapuu L., Guštšin A., Lepik M.</b> Ohuvooluga transporditava kiudmaterjalide elektrostaatiliste laengute mõõtmisest. <i>Resümee</i>	277
<b>Visnapuu L., Gushchin A., Lepik M.</b> On measuring electrostatic charges of fibres transported by the air current. <i>Summary</i>	277
<b>Юпрус Я. В., Рейнет Я. Ю.</b> Некоторые проблемы в теории фотографического осцилляционного метода, связанные с напряжением, подаваемым на электроды кюветы	279
<b>Uprus J., Reinet J.</b> Mõned probleemid fotograafilise ostsillatsioonimeetodi teoorias, seoses küveti elektroodidele antava pingega. <i>Resümee</i>	288
<b>Uprus J., Reinet J.</b> Some problems of the theory of the photographic oscillation method connected with the voltage applied to the electrodes of the cuvette. <i>Summary</i>	289
<b>Фишер М. М.</b> Об определении заряда частиц аэрозолей осцилляционным методом	290
<b>Fischer M.</b> Aerosooliosakeste laengu määramisest ostsillatsioonimeetodil. <i>Resümee</i>	295
<b>Fischer M.</b> On determining the aerosol particle charge by the oscillation method. <i>Summary</i>	296
<b>Виснапуу, Л. Ю., Рейнет Я. Ю.</b> О создании электрически заряженных аэрозолей в камерах	297
<b>Visnapuu L., Reinet J.</b> Elektriliselt laetud aerosoolide tekitamisest ja käitumisest kambris. <i>Resümee</i>	303
<b>Visnapuu L., Reinet J.</b> On the generation and behaviour of electrically charged aerosols in a chamber. <i>Summary</i>	304
<b>Виснапуу Л. Ю., Иентс А. К.</b> О рабочем режиме аэрозольных ингаляторов	305
<b>Visnapuu L., Jents A.</b> Aerosooli-inhalaatorite töörežiimist. <i>Resümee</i>	310
<b>Visnapuu L., Jents A.</b> On working-regime of aerosol inhalators. <i>Summary</i>	310
<b>Сульби Л. А.</b> О физических основах оценки химического влияния ультразвука	311
<b>Sulbi L.</b> Ultraheli keemilise mõju hindamise füüsikalistest alustest. <i>Resümee</i>	322
<b>Sulbi L.</b> Physical foundations of evaluating the chemical effect of ultrasound. <i>Summary</i>	322

## КРАТКИЙ ОБЗОР НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАБОТ ПО АЭРОИОНИЗАЦИИ И ЭЛЕКТРОАЭРОЗОЛЯМ, ПРОВЕДЕННЫХ В г. ТАРТУ

Рейнет Я. Ю.

«Ученые записки Тартуского госуниверситета», 1970, вып. 240, стр. 3—31.

В статье дан обзор исследований по атмосферной ионизации, проведенных в Тарту (ЭССР) в течение ряда лет с помощью оригинальных счетчиков — спектрометров атмосферных ионов, причем исследовались изменения концентраций (легких, средних и тяжелых) ионов в течение суток, года и нескольких лет.

В перечисленных в статье работах даны 1) теоретические основы конструирования счетчиков атмосферных ионов и электроаэрозолей и новые методы исследования атмосферной ионизации; 2) исследования атмосферной ионизации и метеорологических элементов и взаимосвязей между типами погоды.

Чтобы исследовать влияние аэроионов и электроаэрозолей на живой организм, разработаны различные аэроионизаторы и электроаэрозольные генераторы, которые позволяют сильно ионизировать воздух, медицинский кислород и частицы аэрозолей, полученные при распылении жидкости (водные растворы медикаментов и т. п.)

Дан обзор по конструированию аэрозольных и электроаэрозольных генераторов к аппаратам искусственного дыхания, которые уже в 1958 г. были внедрены в Эстонском республиканском респирационном центре в г. Тарту, в результате чего смертность при легочных заболеваниях упала в несколько раз.

Начато использование электроаэрозолей наряду с электроаэрозольтерапией и для дезинфекции, причем разработаны методы создания электроаэрозолей с помощью ультразвука.

Для внедрения результатов исследований по аэроионизации и электроаэрозолям в промышленность разработана аппаратура и методика окраски электропроводящими красками в электрическом поле и окраски диэлектриков (пластмасс) в электрическом поле; сконструированы новые эффективные нейтрализаторы статического электричества и внедрены в тех областях промышленности, где известные до сих пор нейтрализаторы не удавалось использовать.

Библ. 244 назв.

Резюме на эстонском и английском языках.

# **СЧЕТЧИК АТМОСФЕРНЫХ ИОНОВ С АВТОМАТИЧЕСКИМ ФОТОРЕГИСТРАТОРОМ И ДИНАМИЧЕСКИМ ЭЛЕКТРОМЕТРОМ**

**Прюллер П. К., Сакс О. В.**

«Ученые записки Тартуского госуниверситета», 1970, вып. 240, стр. 32—60.

Автоматизация работы аспирационного счетчика ионов и применение регистрирующих приборов значительно расширяют возможность проведения систематических исследований атмосферной ионизации.

В статье рассматривается аппаратура, применявшаяся в 1960—1963 гг. для измерения ионизации атмосферы в г. Тарту. При этих измерениях комбинированный счетчик ионов был перестроен авторами статьи и приспособлен к измерению ионизации атмосферы с автоматическим фоторегистратором или с динамическим электрометром и регистрирующим прибором.

Благодаря автоматизации процессов измерения удалось накопить обширный фактический материал о состоянии ионизации атмосферы в г. Тарту за период VIII 1960 — VII 1963 г.

Илл. 9. Библ. 12 назв.

Резюме на эстонском и английском языках.

# ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРА АТМОСФЕРНЫХ ИОНОВ, ГИГИЕНИЧЕСКОЕ И БИОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ ИОНИЗАЦИИ АТМОСФЕРЫ ПО ДАННЫМ ИЗМЕРЕНИЙ В Г. ТАРТУ

Приллер П. К.

«Ученые записки Тартуского госуниверситета», 1970, вып. 240, стр. 61—139.

Статья основывается на более чем 40 000 измерениях атмосферной ионизации в центре г. Тарту с помощью автоматической аппаратуры в течение 3 лет (VIII 1960 — VII 1963 г.). Целью работы является получение комплексной ионизационной, метеорологической (связи вычислены на ЭВМ), биометеорологической (чистота воздуха городов) и биофизической характеристик атмосферного воздуха.

Большой экспериментальный материал позволил выяснить детальную картину временной (суточной и сезонной) изменчивости концентрации легких и тяжелых ионов разных классов в условиях г. Тарту. Проведено исследование по оценке репрезентативности метеорологических станций г. Тарту и измерений ионизации в центре города. Последние представляют естественный уровень ионизации летом круглосуточно, а зимой в 1 час ночи, когда воздух наиболее чист. Режим ионизации в центре г. Тарту существенно не отличается от режима на окраине города.

Удовлетворительная корреляция (45 коэффициентов корреляции выше предела достоверности  $r_0=0,11$ ) дает возможность оценить состояние ионизации воздуха по метеорологическим данным. Введен коэффициент альтернативности, облегчающий сравнение ряда коэффициентов корреляции. Рассчитаны концентрации аэрозолей г. Тарту и показана возможность оценить чистоту (загрязненность) воздуха города на основе данных об ионизации. Представлен новый, физически обоснованный вариант классификации спектра ионов по среднему значению знака и величины объемного заряда отдельных групп подвижностей ионов. Составлена классификация типов погоды на основе климатических условий Эстонской ССР для медицинских и курортологических исследований и установления связи между ионизацией атмосферы и типами погоды. Для биометеорологических целей изучена заболеваемость и смертность в г. Тарту за 1960—1963 гг. по сезонам года и типам погоды.

Илл. 27. Библ. 71 назв.

Резюме на эстонском и английском языках.

## К ТЕОРИИ ИЗМЕРЕНИЯ НАПРЯЖЕННОСТИ АТМОСФЕРНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ

Таммет Х. Ф.

«Ученые записки Тартуского госуниверситета», 1970, вып. 240, стр. 140—156.

В статье введено понятие двух эффективных высот антенны и установлено общее уравнение напряжения для антенн разнотипных полемеров. Уточнена теория инерционности коллекторных приборов и предложена оценка проводимостей ошибки индукционного метода. Рассмотрены требования к устройству электрически уравновешенной антенны, которая позволяет провести непрерывные безынерционные наблюдения.

Илл. 4. Библ. 27 назв.

Резюме на эстонском и английском языках.

УДК 551.508.941.3  
551.508.943  
621.317.792

## **СЧЕТЧИК АЭРОИОНОВ САИ-ТГУ-66**

**Таммет Х. Ф.**

«Ученые записки Тартуского госуниверситета», 1970, вып. 240, стр. 157—163.

Описан универсальный переносный интегральный счетчик аэроионов, основные отличительные особенности которого следующие: метод внешней собирающей обкладки, конический измерительный конденсатор с симметричным креплением внутренней обкладки, выпрямитель с нестабильностью порядка 0,0001%, регулируемая инерционность, автоблокировка, широкий диапазон измерения, установка режима и отсчет без вычислений.

Илл. 3. Библ. 1 назв.

Резюме на эстонском и английском языках.

---

УДК 551.508.94  
621.317.792

## **КАЖУЩИЙСЯ СПЕКТР АЭРОИОНОВ ПРИ УЧЕТЕ ТЕПЛОВОЙ ДИФфуЗИИ**

**Сальм Я. И.**

«Ученые записки Тартуского госуниверситета», 1970, вып. 240, стр. 164—173.

Даны более строгий вывод и интерпретация формулы ошибки подвижности за счет тепловой диффузии в аспирационном счетчике аэроионов. В некоторых частных случаях исследованы кажущиеся функции плотности распределения подвижности. Приведен набросок метода для нахождения истинного спектра подвижностей при наличии диффузии.

Илл. 1. Библ. 4 назв.

Резюме на эстонском и английском языках.

---

УДК 551.508.94  
621.317.792

## **О ДЕЙСТВИИ ТУРБУЛЕНТНОСТИ В АСПИРАЦИОННОМ СЧЕТЧИКЕ АЭРОИОНОВ**

**Сальм Я. И.**

«Ученые записки Тартуского госуниверситета», 1970, вып. 240, стр. 174—180.

Теория действия слабой турбулентности в измерительном конденсаторе счетчика аэроионов обобщена на случай анизотропной однородной турбулентности. Уточнены значения корреляционных функций и масштабов.

Библ. 5 назв.

Резюме на эстонском и английском языках.

УДК 551.508.94  
621.317.792

## **РАЗРЕШАЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО СЧЕТЧИКА АЭРОИОНОВ ПЕРВОГО ПОРЯДКА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ОТНОШЕНИЯ ДЕЙСТВУЮЩИХ ЕМКОСТЕЙ**

**Сальм Я. И.**

«Ученые записки Тартуского госуниверситета», 1970, вып. 240, стр. 181—181.

Исходя из одной методики для экспериментального определения действия турбулентности (Таммет, Х. Ф., Уч. зап. Тартуского гос. ун-та, вып. 195, 1967), была исследована зависимость погрешности окончательного результата от отношения действующих емкостей собирающей и предварительной обкладок.

Илл. 2. Библ. 2 назв.

Резюме на эстонском и английском языках.

---

УДК 551.508.94  
53.087.47  
621.317.787.2

## **РЕГИСТРАТОР АВТОМАТИЧЕСКОГО СЧЕТЧИКА АЭРОИОНОВ**

**Ирд В. Я., Лепик М. Э.**

«Ученые записки Тартуского госуниверситета», 1970, вып. 240, стр. 185—191.

Описана схема и работа измерителя времени с перфорегистратором, предназначенного для автоматического аспирационного счетчика аэроионов.

Илл. 1. Библ. 10 назв.

Резюме на эстонском и английском языках.

---

УДК 551.508.943  
621.317.792

## **ЭЛЕКТРОМЕТРИЧЕСКОЕ НУЛЕВОЕ УСТРОЙСТВО К СЧЕТЧИКУ АЭРОИОНОВ**

**Сакс О. В., Ирд В. Я.**

«Ученые записки Тартуского госуниверситета», 1970, вып. 240, стр. 192—197.

Описано электрическое нулевое устройство, построенное на динамическом конденсаторе, предназначенное для автоматизации работы аспирационного счетчика аэроионов. Применен нулевой метод измерения изменения заряда на измерительном электроде.

Илл. 3.

Резюме на эстонском и английском языках.



УДК 551.508.941.3  
621.317.792

## **АВТОМАТИЧЕСКИЙ СЧЕТЧИК АЭРОИОНОВ С ПЕРФОРЕГИСТРАТОРОМ**

**Ирд В. Я.**

«Ученые записки Тартуского госуниверситета», 1970, вып. 240, стр. 198—208.

Дано описание автоматического аспирационного счетчика аэроионов с перфорегистратором, предназначенного для проведения длительных исследований и измерений количества аэроионов в атмосфере.

Аппаратура построена с использованием бесконтактных элементов автоматики.

Илл. 4. Библ. 18 назв.

Резюме на эстонском и английском языках.

---

УДК 551.508.94  
621.317.792

## **О ПРИМЕНЕНИИ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ЛОГИЧЕСКИХ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ (ЭТ) В АВТОМАТИЧЕСКОМ СЧЕТЧИКЕ АЭРОИОНОВ**

**Ирд В. Я., Якобсон А. Ф.**

«Ученые записки Тартуского госуниверситета», 1970, вып. 240, стр. 209—214.

Приведено описание схемы автоматики, построенной на полупроводниковых бесконтактных элементах автоматики для управления работой аспирационного счетчика аэроионов.

Илл. 3. Библ. 6 назв.

Резюме на эстонском и английском языках.

---

УДК 537.525.2

## **ОБ ИМПУЛЬСНОМ ВЧ РАЗРЯДЕ В ВОЗДУХЕ В ПРОМЕЖУТКЕ ОСТРИЕ—ПЛОСКОСТЬ**

**Веймер В. А., Куду К. Ф.**

«Ученые записки Тартуского госуниверситета», 1970, вып. 240, стр. 215—220.

Исследовался ВЧ разряд в воздухе в промежутке острие—плоскость, который возбуждался радиопульсами длительностью от 5 до  $5 \cdot 10^4$  мксек, с несущей частотой 20 МГц.

Были получены фотографии различных фаз развития ВЧ вспышек. Исследовалась зависимость форм ВЧ вспышек от амплитуды радиопульса при постоянной длительности импульса. Увеличение амплитуды ускоряет развитие ВЧ вспышек, позволяя возникновение более поздних фаз при более коротких радиопульсах.

Илл. 14. Библ. 2 назв.

Резюме на эстонском и английском языках.

## **ОБ УСЛОВИЯХ ВОЗНИКНОВЕНИЯ СТРИМЕРОВ ПОЛОЖИТЕЛЬНОЙ КОРОНЫ**

**Куду К. Ф., Веймер В. А.**

«Ученые записки Тартуского госуниверситета», 1970, вып. 240, стр. 221—233.

В разрядном промежутке соосные острие-цилиндр исследовалось влияние перемещаемого по внутреннему электроду металлического шара на пороги предначальных стримеров короны, непрерывной короны, предпробойных стримеров и пробоя, а также на вероятность возникновения стримеров. Описывается ВВ стабилизатор напряжения, используемый при измерениях.

Было найдено, что интервал напряжений существования непрерывной короны и предначальных стримеров сильно зависит от положения шара.

Чем однороднее поле, тем шире интервал напряжений, в котором возникают предначальные стримеры и уже интервал существования непрерывной короны. Были найдены положения шара, при которых невозможна непрерывная корона. Увеличение однородности поля увеличивало также вероятность возникновения предначальных стримеров. Влияние начальной ионизации скажется больше при более однородных полях. Отмечено также влияние начальной ионизации на порог предначальных стримеров.

Илл. 9. Библ. 12 назв.

Резюме на эстонском и английском языках.

УДК 621.319.74

## **ТЕОРИЯ ПРОСТЕЙШЕЙ МОДЕЛИ ПЛОСКОГО НЕЙТРАЛИЗАТОРА СТАТИЧЕСКОГО ЭЛЕКТРИЧЕСТВА**

**Таммет Х. Ф.**

«Ученые записки Тартуского госуниверситета», 1970, вып. 240, стр. 234—242.

Показано, что объемный заряд аэроионов между ионизатором и нейтрализующей поверхностью ограничивает интенсивность нейтрализации и увеличение мощности ионизатора не всегда целесообразно. Выведены формулы и составлены графики, поясняющие общие закономерности действия плоских нейтрализаторов. Представленные данные могут найти применение при разработке нейтрализаторов статического электричества.

Илл. 2.

Резюме на эстонском и английском языках.

УДК 537.222.6:621.319.74

## **КОРОННЫЙ НЕЙТРАЛИЗАТОР СО СКВОЗНЫМ ПОТОКОМ ВОЗДУХА**

**Виснапуу Л. Ю., Рейнет Я. Ю., Ютс Э. Ю.**

«Ученые записки Тартуского госуниверситета», 1970, вып. 240, стр. 243—251.

Описан комбинированный нейтрализатор электростатических зарядов, в котором сочетаются заземленные и высоковольтные разрядники. С целью увеличения эффективности нейтрализатора острия разрядников введены в отверстия, через которые создается поток воздуха. Приведены данные, характеризующие разрядный ток нейтрализатора при различных режимах работы.

Илл. 5. Библ. 4 назв.

Резюме на эстонском и английском языках.

**НЕЙТРАЛИЗАТОРЫ СТАТИЧЕСКИХ ЗАРЯДОВ****Хальясте А. Я., Рейнет Я. Ю.**

«Ученые записки Тартуского госуниверситета», 1970, вып. 240, стр. 252—261.

Исследована эффективность коронных нейтрализаторов, работающих на переменном напряжении низкой частоты, в зависимости от конструкции при потенциале на коронирующих электродах 6—12 кв. Исследована также возможность удаления ядовитых газов, возникающих при коронном разряде. На основе полученных данных сконструирован нейтрализатор, который можно использовать в промышленности для нейтрализации статических зарядов.

Илл. 7. Библ. 10 назв.

Резюме на эстонском и английском языках.

УДК 537.222.5

**СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ  
НЕЙТРАЛИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИХ ЗАРЯДОВ  
ПОСРЕДСТВОМ ГЕНЕРАТОРОВ АЭРОИОНОВ  
И ЭЛЕКТРИЧЕСКИ ЗАРЯЖЕННОГО АЭРОЗОЛЯ****Виснапуу Л. Ю., Рейнет Я. Ю., Тетсов Э. А.**

«Ученые записки Тартуского госуниверситета», 1970, вып. 240, стр. 262—270.

В работе исследована эффективность нейтрализации электростатических зарядов с помощью коронного аэроионизатора и электроаэрозольного генератора при различных режимах их работы. Расстояние между нейтрализатором и разряжаемым телом изменяли от 0,5 до 1,5 м. Составлены графические зависимости плотности нейтрализующего тока от напряженности электрического поля разряжаемого тела. Показано, что при нейтрализации электростатических зарядов в случае больших расстояний между разряжаемым телом и нейтрализатором применение униполярно или биполярно заряженного аэрозоля более эффективно, чем соответственно униполярно или биполярно ионизированного воздуха. Создание при этом добавочного потока воздуха, направленного к разряжаемому телу, способствует увеличению эффективности нейтрализации.

Илл. 2. Библ. 2 назв.

Резюме на эстонском и английском языках.

УДК 677—1:537.7

**ОБ ИЗМЕРЕНИЯХ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИХ ЗАРЯДОВ  
ВОЛОКНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ, ТРАНСПОРТИРУЕМЫХ  
ВОЗДУШНЫМ ПОТОКОМ****Виснапуу Л. Ю., Гуцин А. Е., Лепик М. Э.**

«Ученые записки Тартуского госуниверситета», 1970, вып. 240, стр. 271—278.

Предложено два способа для определения удельного заряда волокна, движущегося в потоке воздуха. Первый способ измерения основан на накапливании заряженных частиц на коллекторе, а второй — на разрядении заряженными частицами специального измерительного конденсатора. Даны соответствующие расчетные формулы.

Приведены результаты измерения удельных зарядов хлопка и капрона, электризующихся в процессе чесания на бумагоделательной машине.

Табл. 1. Илл. 1. Библ. 7 назв.

Резюме на эстонском и английском языках.

## **НЕКОТОРЫЕ ПРОБЛЕМЫ В ТЕОРИИ ФОТОГРАФИЧЕСКОГО ОСЦИЛЛЯЦИОННОГО МЕТОДА, СВЯЗАННЫЕ С НАПРЯЖЕНИЕМ, ПОДАВАЕМЫМ НА ЭЛЕКТРОДЫ КЮВЕТЫ**

**Юпрус Я. В., Рейнет Я. Ю.**

«Ученые записки Тартуского госуниверситета», 1970, вып. 240, стр. 279—289.

В работе рассматриваются основные проблемы, с которыми приходится сталкиваться при проектировании и проведении конструктивных расчетов узла напряжения, подаваемого на электроды кюветы в приборе, работающем по фотографическому осцилляционному методу. Поставлены условия, которым должны удовлетворять частота амплитуды и форма напряжения. Указан путь теоретической оценки применимости напряжения. Рассматривается проблема падения чувствительности по заряду с повышением частоты и определение заряда частицы путем измерения амплитуды траектории. Указывается на возможность определения знака заряда частицы с помощью световой отметки, синхронизированной напряжением.

Библ. 7 назв.

Резюме на эстонском и английском языках.

---

## **ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ ЗАРЯДА ЧАСТИЦ АЭРОЗОЛЕЙ ОСЦИЛЛЯЦИОННЫМ МЕТОДОМ**

**Фишер М. М.**

«Ученые записки Тартуского госуниверситета», 1970, вып. 240, стр. 290—296.

Рассматривается определение заряда частицы аэрозоля осцилляционным методом на основе измерения амплитуды ее колебаний в направлении электрического поля в пределах применимости закона Стокса в специальном случае прямоугольного симметричного электрического поля. При решении дифференциального уравнения, описывающего колебания частицы в направлении поля, применен метод, который быстро приводит к цели для любого частично постоянного электрического поля.

Найденные формулы применимы для расчета заряда частицы, а также при оценке чувствительности по заряду осцилляционного метода и при конструировании соответствующего измерительного устройства.

Библ. 4 назв.

Резюме на эстонском и английском языках.

## **О СОЗДАНИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИ ЗАРЯЖЕННЫХ АЭРОЗОЛЕЙ В КАМЕРАХ**

**Виснапуу Л. Ю., Рейнет Я. Ю.**

«Ученые записки Тартуского госуниверситета», 1970, вып. 240, стр. 297—304.

Описана экспериментальная камера, предназначенная для исследования действия искусственно заряженных и не заряженных аэрозолей на животных. Приведены результаты измерения плотности объемного заряда, устанавливающейся в камере при различных режимах работы аэрозольного генератора.

Отмечается, что равновесная концентрация аэрозолей при постоянной производительности аэрозольного генератора в случае искусственно заряженных аэрозолей значительно меньше, чем в случае незаряженных аэрозолей.

Табл. 2. Илл. 2. Библ. 4 назв.

Резюме на эстонском и английском языках.

---

## **О РАБОЧЕМ РЕЖИМЕ АЭРОЗОЛЬНЫХ ИНГАЛЯТОРОВ**

**Виснапуу Л. Ю., Йентс А. К.**

«Ученые записки Тартуского госуниверситета», 1970, вып. 240, стр. 305—310.

Кратко описан принцип действия аэрозольного ингалятора, нашедшего наиболее широкое применение в медицинской практике клиник. Замечено, что распределение полученных аэрозольных частиц по размерам близко к логарифмически нормальному. Приведены формулы, описывающие режим работы пневматического аэрозольного ингалятора, и некоторые дозиметрические формулы. Рассмотрен вопрос экономичности аэрозольных ингаляторов без регулятора подачи аэрозоля.

Илл. 2. Библ. 3 назв.

Резюме на эстонском и английском языках.

---

## **О ФИЗИЧЕСКИХ ОСНОВАХ ОЦЕНКИ ХИМИЧЕСКОГО ВЛИЯНИЯ УЛЬТРАЗВУКА**

**Сульби Л. А.**

«Ученые записки Тартуского госуниверситета», 1970, вып. 240, стр. 311—322.

Приводятся данные для плотности энергии звукового поля в случае однородного поля и при наличии кавитации.

Дан метод для описания звукопоглощения, исходя из энергетических переходов. С помощью обобщенной системы коэффициентов полезного действия показана возможность оценки количества веществ, превращающихся в ходе звукохимических реакций, например, при распылении медикаментов с помощью ультразвука.

Библ. 48 назв.

Резюме на эстонском и английском языках.

ТРУДЫ ПО АЭРОИОНИЗАЦИИ  
И ЭЛЕКТРОАЭРОЗОЛЯМ

III

На русском языке

Резюме на эстонском и английском языках

Тартуский государственный университет,  
ЭССР, г. Тарту, ул. Юликооли, 18

Ответственный редактор Р. Матизен  
Корректоры Ю. Сарв, А. Норберг,  
Г. Лийв

Сдано в набор 1/XII 1969 г. Подписано к печати  
13/III 1970 г. Бумага фабрики «Кохила», типо-  
графская № 2. 60×90, 1/16. Печ. листов 21,75 +  
+ 2 вклейки. Учетно-издат. листов 24,8. Тираж  
800 экз. МВ-00447. Заказ № 3109.

Типография им. Ханса Хейдеманна, ЭССР,  
г. Тарту, ул. Юликооли, 17/19. I

Цена 2 руб. 50 коп.